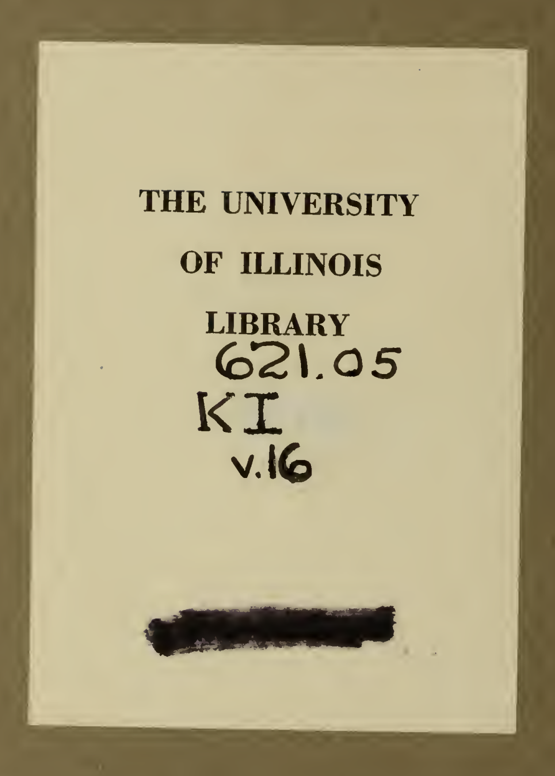
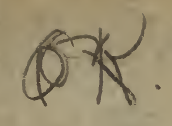




ANNALES

de l'Institut Polytechnique de l'Empereur Alexandre II
à Kiev.

16-me année **1916.** 1—2-de livraison.

ИЗВѢСТІЯ

Kievskogo politekhnicheskago
КІЕВСКАГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКАГО
instituta
ИНСТИТУТА
Imperatora Aleksandra II.
Императора Александра II.

ОТДѢЛЪ

Инженерно-Механическій.

1916 г.

Книга 1—2.

КІЕВЪ
Типографія Товарищества И. Н. Кушнеревъ и К⁰. Караваевская, № 5.
1916.

Оглавленіе.

Table des matières.

Печатано по постановленію Совѣта Кіевскаго Политехническаго Института ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА II.

Отъ Отдѣла Воздушнаго Флота.

Большое развитіе воздушной фотографіи заставляетъ озаботиться изготовленіемъ значительнаго количества фотографическихъ аппаратовъ, для которыхъ нужны объективы.

Такъ какъ для воздушной фотографіи необходимы спеціальные объективы, не изготовляющіеся въ Россіи и получить которые въ настоящее время изъ-за границы крайне затруднительно, то Отдѣлъ Воздушнаго Флота обращается ко всѣмъ учрежденіямъ и частнымъ лицамъ съ просьбой предоставить имѣющіеся въ ихъ распораженіи фотографическіе объективы, удовлетворяющіе условіямъ, указаннымъ ниже въ примѣчаніи, на нужды нашей авіаціи.

Отдѣлъ Воздушнаго Флота надѣется, что обращеніе его встрѣтитъ самое горячее сочувствіе среди всѣхъ Русскихъ людей, жаждущихъ побѣды надъ нашимъ врагомъ и поможетъ успѣшно справиться съ крайне нужнымъ и спѣшнымъ изготовленіемъ аппаратовъ для цѣлей воздушной фотографіи.

Списки учрежденій и лицъ, пожертвовавшихъ объективы, будутъ съ благодарностью объявлены въ печати. Не могущимъ же предоставить ихъ безвозмездно Отдѣлъ Воздушнаго Флота уплатитъ стоимость принятыхъ отъ нихъ объективовъ.

Примѣчаніе. Жертвуемые объективы отдѣльно или вдѣланные въ камеры просятъ направлять въ Отдѣлъ Воздушнаго Флота, Петроградъ, Офицерская улица, 35, и мѣстные Комитеты по сбору пожертвованій на воздушный флотъ ВЫСОЧАЙШЕ утвержденнаго Особаго Комитета по усиленію военнаго флота на добровольныя пожертвованія.

Объективы должны удовлетворять слѣдующимъ условіямъ: 1) имѣть фокусное разстояніе 18—40 сантим.; 2) имѣть свѣтосилу 1:3,5—1:6,3; 3) быть слѣдующихъ типовъ и фирмъ: БУШЪ-Омнары, ГЕРЦЪ: Целлоры, Пантары и Дагмары, КРАУСЪ: тессары, РОДЕНШТОКЪ—Эйрнары, РОССЪ—Гомоцентрики и Телецентрики и Икспрессы, ФОХТЛЕНДЕРЪ—Геліары и Коллинеары, ЦЕЙССЪ--Тессары и Протары.

Къ вопросу о разборныхъ желѣзныхъ мостахъ.

Проф. Е. О. Патона.

Желѣзные разборные мосты примѣняются не только въ военное время для возстановленія мостовъ, разрушенныхъ военными дѣйствіями, но и въ мирное время при перестройкахъ мостовъ на существующихъ дорогахъ и для временнаго открытія движенія на строющихся дорогахъ до установки постоянныхъ пролетныхъ строеній. Вопросъ о разборныхъ мостахъ очень слабо разработанъ въ Россіи. До настоящаго времени русскія желѣзныя дороги пользуются разборными мостами устарѣвшей системы французскаго инженера Эйфеля [1]), которая страдаетъ существенными недостатками. Въ текущую войну, когда желѣзнымъ дорогамъ приходится возстанавливать большое количество разрушенныхъ непріятелемъ мостовъ, разборные мосты пріобрѣли особо важное значеніе. Поэтому, руководя Мостовою Подсекціею [2]) Кіевскаго Областного Военно-Промышленнаго Комитета, я включилъ въ программу ея работъ составленіе цѣлаго ряда проектовъ желѣзныхъ разборныхъ мостовъ. Эти проекты разработаны студентами Инженернаго Отдѣленія Кіевскаго Политехническаго Института Безпаловымъ, Боровскимъ, Василевскимъ, Войтенко, Зубриловымъ, Кармановымъ, Лисицкимъ, Пинавнинымъ, Сейделемъ и Янкевичемъ. Составленіемъ этихъ проектовъ руководили авторъ настоящей статьи и преподаватель Кіевскаго Политехническаго Института П. В. Рабцевичъ.

До настоящей войны намъ не приходилось интересоваться спеціальностью разборныхъ мостовъ, пріобрѣтающихъ особое значеніе въ военное время. Приступивъ къ проектированію во время разгара войны, мы были лишены возможности пользоваться соотвѣтственнымъ матеріаломъ, разработаннымъ въ другихъ странахъ; поэтому намъ пришлось работать самостоятельно, шагъ за шагомъ совершенствуя разрабатываемыя нами конструкціи. Мы убѣдились, что въ области разборныхъ мостовъ имѣется обильный и интересный матеріалъ для конструктивной разработки. Не подлежитъ сомнѣнію, что, кромѣ полученныхъ нами рѣшеній, возможны и многія другія рѣшенія. Мы далеки отъ мысли дать въ настоящей статьѣ исчерпывающій обзоръ вопроса о разборныхъ мостахъ и органичиваемся сообщеніемъ наиболѣе интереснаго матеріала, заключающагося въ нашихъ проектахъ, а также нѣкоторыхъ общихъ соображеній по вопросу о проектированіи разборныхъ мостовъ.

---

[1]) Для узкоколейныхъ полевыхъ желѣзныхъ дорогъ военное вѣдомство располагаетъ нѣсколькими системами разборныхъ мостовъ, какъ-то системою Кривошейна (см. Инженерный журналъ 1900 г., № 5 и 6), системою Шифферса и др.

[2]) См. брошюру: „Перечень проектовъ мостовыхъ сооруженій, составленныхъ Мостовою Подсекціею Кіевскаго Военно-промышленнаго Комитета. 1916 г. IV изданіе.

I Глава. Условія, коимъ должны удовлетворять желѣзные разборные мосты.

Разборные мосты представляютъ такія желѣзныя конструкціи, которыя составляются изъ отдѣльныхъ частей, соединяемыхъ между собою болтами; эти конструкціи разбираются и собираются въ краткій срокъ и въ разобранномъ видѣ перевозятся съ мѣста на мѣсто. Раціонально спроектированные разборные мосты должны удовлетворять тремъ основнымъ условіямъ: 1) скорость сборки, 2) простота конструкціи и изготовленія на заводѣ и 3) приспособляемость къ мѣстнымъ условіямъ.

§ 1. Скорость сборки. Главное условіе, предъявляемое къ разборнымъ мостамъ, заключается въ скорости ихъ сборки. Въ военное время это условіе стоитъ на первомъ планѣ, если требуется какъ можно скорѣе открыть желѣзнодорожное движеніе по линіи, на которой мосты были разрушены Скорость сборки зависитъ отъ числа составныхъ частей конструкціи, отъ способа ихъ взаимнаго сопряженія, отъ вѣса и размѣровъ этихъ частей и, наконецъ, отъ числа болтовъ для взаимнаго сопряженія этихъ частей. Чѣмъ меньше ч и с л о частей, изъ которыхъ составляется разборный мостъ, тѣмъ меньше времени требуется для взаимнаго сопряженія этихъ частей болтами. Устройство сопряженій также вліяетъ на скорость сборки; въ этомъ отношеніи слѣдуетъ избѣгать такихъ сопряженій, при которыхъ концы частей надо заводить въ зазоры между накладками, а слѣдуетъ стремиться къ тому, чтобы части сопрягались путемъ наружнаго примыканія концовъ въ притыкъ другъ къ другу. На томъ же основаніи наилучшимъ способомъ сопряженія балокъ проѣзжей части, какъ между собой, такъ и съ фермами, слѣдуетъ признать свободное опираніе балокъ безъ защемленія стѣнки этихъ балокъ между уголками. Помимо удобства сборки, свободное опираніе поперечныхъ балокъ на фермы полезно въ томъ отношеніи, что деформаціи проѣзжей части не передаются фермамъ и наоборотъ. На скорость сборки оказываетъ замѣтное вліяніе число болтовъ, которые надо поставить въ мѣстахъ взаимнаго соединенія частей моста. Каждый лишній болтъ задерживаетъ сборку, поэтому слѣдуетъ стремиться къ возможному уменьшенію числа болтовъ: въ крайнемъ случаѣ это можетъ быть достигнуто за счетъ увеличенія діаметра болтовъ до 70 мм. Изготовленіе болтовъ бо́льшаго діаметра встрѣчаетъ затрудненія даже на первоклассныхъ заводахъ Россіи. Что касается вѣса и размѣровъ отдѣльныхъ частей, то вѣсъ не долженъ превышать 150 пуд., чтобы при сборкѣ можно было обходиться безъ сложныхъ подъемныхъ механизмовъ. Размѣры отдѣльныхъ частей должны быть назначаемы такъ, чтобы онѣ допускали удобную погрузку на желѣзнодорожныя платформы, не выступали за предѣлы ж.-д. габарита и чтобы обращеніе съ этими частями во время сборки было удобное.

§. 2 **Простота конструкціи и изготовленія на заводѣ.** Чтобы изготовленіе разборныхъ мостовъ на заводахъ не представляло затрудненій и могло быть выполнено въ кратчайшій срокъ, слѣдуетъ стремиться къ возможному упрощенію конструкціи, что достигается: 1) сокращеніемъ количества заклепочныхъ соединеній путемъ замѣны составныхъ сѣченій фасоннымъ желѣзомъ, 2) назначеніемъ сортовъ желѣза, заклепокъ и болтовъ въ возможно меньшемъ количествѣ и 3) созданіемъ возможно большаго числа одинаковыхъ частей.

При подборѣ сѣченій изъ листовъ и уголковъ приходится ставить много заклепокъ для взаимнаго соединенія этихъ частей; работа значительно упрощается, если пользоваться фасоннымъ желѣзомъ, причемъ наиболѣе удобнымъ въ конструктивномъ отношеніи является швеллерное желѣзо. Опытъ настоящей войны показалъ, что при изготовленіи желѣзныхъ мостовъ заводы испытываютъ главныя затрудненія отъ несвоевременной прокатки желѣза и чѣмъ больше сортовъ желѣза надо прокатать, тѣмъ больше затрудненій. Вслѣдствіе этого при проектированіи слѣдуетъ стремиться къ сокращенію числа необходимыхъ сортовъ желѣза, не смущаясь тѣмъ, что при этомъ нѣкоторыя сѣченія приходится подбирать съ большимъ запасомъ. Слѣдуетъ также вводить по меньше сортовъ (діаметровъ) заклепокъ и болтовъ. Что же касается разной длины болтовъ, зависящей отъ разной толщины соединяемыхъ частей, то въ этомъ отношеніи весьма удобно примѣнять болты универсальнаго типа съ гайками увеличенной высоты (фиг. 1),

Болты въ стыкахъ поясовъ

Фиг. 1.

допускающими примѣненіе однихъ и тѣхъ же болтовъ при различной толщинѣ соединяемыхъ частей. При проектированіи разборныхъ мостовъ слѣдуетъ стремиться къ созданію возможно бóльшаго числа одинаковыхъ частей. Для этой цѣли фермы съ криволинейными поясами мало пригодны. Въ фермахъ съ параллельными поясами можно получить большое число одинаковыхъ частей, если каждому поясу фермъ на всемъ его протяженіи придать одинаковое сѣченіе, подобранное по наибольшему усилію въ средней панели; раскосы также можно исполнить во всѣхъ панеляхъ одинаковаго сѣченія, которое разсчитано по наибольшему усилію въ крайней панели; то же самое можно сдѣлать со стойками. Въ этомъ случаѣ изъ однихъ и тѣхъ же элементовъ можно составлять фермы большей или меньшей длины.

При наличности одинаковыхъ частей, однѣ части могутъ быть замѣнены другими, что весьма важно въ случаѣ порчи или утери частей; кромѣ того, при сборкѣ надо придерживаться строго опредѣленнаго порядка.

Однако, слѣдуетъ замѣтить, что для строгаго соблюденія принципа взаимозамѣняемости частей необходима безусловно точная разметка и изготовленіе дыръ, не прибѣгая къ разверткѣ дыръ въ собранныхъ частяхъ. Къ точному способу работы русскіе заводы не приспособлены и изготовленіе дыръ ведется съ такимъ расчетомъ, что всѣ неточности будутъ обезврежены разверткой дыръ. При такомъ способѣ работы нельзя разсчитывать на точное совпаденіе дыръ при замѣнѣ однѣхъ частей другими; поэтому лучше отказаться отъ принципа взаимозамѣняемости частей, и исходить изъ того, что при всякой новой сборкѣ части фермъ будутъ собираться въ томъ же порядкѣ, при которомъ была произведена развертка дыръ. Въ случаѣ необходимости укоротить ферму, слѣдуетъ удалять звенья только въ одномъ ея концѣ; тогда неточное совпаденіе дыръ будетъ имѣть мѣсто только въ этомъ концѣ.

Коснемся здѣсь вопроса, слѣдуетъ ли придавать разборнымъ фермамъ строительный подъемъ. Если фермы собирать съ подъемомъ, то возникаетъ два вопроса. 1) Нарушается возможность взаимозамѣняемости частей, такъ какъ раскосы фермъ получаются неодинаковой длины въ различныхъ панеляхъ; однако слѣдуетъ замѣтить, что согласно вышеизложенному отъ принципа взаимозамѣняемости частей приходится отказаться въ силу общепринятаго на русскихъ заводахъ способа изготовленія дыръ путемъ развертки. Поэтому вопросъ о строительномъ подъемѣ фермъ можно рѣшать независимо отъ принципа взаимозамѣняемости. 2) Придавая фермѣ строительный подъемъ, мы ограничиваемъ возможность укороченія фермы, такъ какъ удаленіе звеньевъ уже невозможно въ любой панели фермы, а обязательно должно производиться въ одномъ изъ ея концовъ. Въ этомъ случаѣ ферма получается несимметричною по отношенію къ серединѣ пролета; это не совсѣмъ эстетично, но по существу вполнѣ допустимо. Итакъ, мы видимъ, что не встрѣчается серьезныхъ препятствій къ исполненію разборныхъ фермъ со строительнымъ подъемомъ. Если же принять во вниманіе, что болтовыя скрѣпленія въ узлахъ являются причиною большихъ остающихся прогибовъ, наблюдаемыхъ при испытаніи разборныхъ фермъ, то слѣдуетъ признать болѣе цѣлесообразнымъ собирать разборныя фермы со строительнымъ подъемомъ.

§ 3. Приспособляемость къ мѣстнымъ условіямъ. Разборныя фермы должны допускать возможность перекрытія не только того максимальнаго пролета, для котораго онѣ были спроектированы, но также и другихъ меньшихъ пролетовъ; для этого фермы должны допускать укороченіе путемъ отбрасыванія одной или нѣсколькихъ панелей. При этомъ укороченныя фермы могутъ сохранять свою первоначальную высоту или же ихъ высота

можетъ быть уменьшаема. Это зависитъ отъ системы рѣшетки фермъ; такъ, напримѣръ, простая раскосная, треугольная и др. рѣшетки не допускаютъ уменьшенія высоты фермъ, а двухрѣшетчатая, ромбическая и др. рѣшетки допускаютъ уменьшеніе высоты фермъ въ два раза. Укороченіе съ удобствомъ допускаютъ только фермы съ параллельными поясами, менѣе удобны въ этомъ отношеніи фермы съ криволинейными поясами.

Весьма удобны такія разборныя фермы, которыя позволяютъ располагать проѣзжую часть двояко, т. е. по верху или по низу. При этомъ разстояніе между фермами можно принимать одинаковымъ въ обоихъ случаяхъ или же меньше въ случаѣ ѣзды по верху. Послѣднее правильнѣе. такъ какъ при малыхъ и среднихъ пролетахъ мосты съ ѣздою по верху имѣютъ меньшую ширину опоръ, чѣмъ мосты съ ѣздою по низу; зато уменьшая ширину разборныхъ мостовъ съ ѣздою по верху, приходится заготовлять два комплекта продольныхъ связей между фермами: одинъ комплектъ для случая ѣзды по верху, а другой—для ѣзды по низу.

II Глава. Разсчетныя нагрузки и допускаемыя напряженія для разборныхъ мостовъ.

Разборные мосты могутъ быть использованы не только въ военное время. Они имѣютъ значеніе также въ мирное время при перестройкахъ мостовъ на существующихъ линіяхъ. На этомъ основаніи Инженерный Совѣтъ при Мин. Пут. Сооб., по докладу проф. Н. А. Бѣлелюбскаго, сдѣлалъ слѣдующія постановленія (за № 121 отъ 18 августа 1893 г. и за № 23 отъ 17 марта 1916 г.) объ условіяхъ проектированія желѣзнодорожныхъ разборныхъ мостовъ. 1) Разборные мосты должны исполняться изъ литого желѣза. 2) При проектированіи разборныхъ мостовъ слѣдуетъ руководствоваться требованіями. нынѣ дѣйствующими для постоянныхъ мостовъ въ отношеніи: а) разсчетнаго поѣзда, б) качествъ и рода металла и в) допускаемыхъ напряженій, съ повышеніемъ таковыхъ на 33%. 3) Болты въ узловыхъ соединеніяхъ должны быть изготовлены изъ стали „марки *C*“ съ временнымъ сопротивленіемъ не менѣе 50 к/мм.^{2} и удлиненіемъ не менѣе 15%; если для болтовъ будетъ примѣнено литое желѣзо, число болтовъ должно быть увеличено примѣрно на 20%. 4) При проектированіи аванбека, служащаго для накатки собранныхъ пролетныхъ строеній, разрѣшить принимать основное допускаемое напряженіе въ размѣрѣ 14 к/мм.^{2}. 5) Постановленіемъ Инженернаго Совѣта отъ 18 августа 1893 г. за № 121 разрѣшается высоту и ширину разборныхъ мостовъ назначать по размѣрамъ габарита очертанія подвижного состава. Опытъ показалъ, что въ случаѣ назначенія этихъ размѣровъ по габариту приближенія строеній къ путямъ, общій вѣсъ желѣза увеличивается въ ничтожномъ размѣрѣ; поэтому Управленіе желѣзныхъ дорогъ въ циркулярѣ отъ 20 мая 1916 г. рекомендуетъ назначать высоту и ширину разборныхъ мостовъ по габариту приближенія строеній къ путямъ.

§ 4. **Разсчетныя временныя нагрузки.** Согласно вышеуказанному постановленію Инженернаго Совѣта разборные мосты слѣдуетъ разсчитывать на нормальный поѣздъ 1907 г., соотвѣтствующій циркуляру Мин. Пут. Сообщ. отъ 14 февраля 1907 г. за № 19. На эксплоатируемыхъ желѣзныхъ дорогахъ этому поѣзду удовлетворяютъ только тѣ мосты, которые построены или усилены послѣ 1907 г., между тѣмъ какъ остальные, многочисленные мосты разсчитаны на болѣе легкіе поѣзда. По этой причинѣ иногда находятъ возможнымъ не предъявлять столь строгихъ требованій къ разборнымъ мостамъ, имѣющимъ лишь временный характеръ, и довольствуются ихъ разсчетомъ на нормальный поѣздъ 1896 г. (циркуляръ Мин. Пут. Сообщ. отъ 15 января 1896 г. за № 753), или же на самые тяжелые паровозы, обращающіеся на данной дорогѣ. Въ настоящее время на многихъ дорогахъ такимъ паровозомъ является пяти-осный товарный паровозъ серіи Щ. съ давленіемъ на три оси по 16 тон. на одну ось въ 16,3 тон. и на одну въ 13 тон. Тендеръ имѣетъ 4 оси съ давленіемъ по 12,75 тон.

Вѣтровую нагрузку можно опредѣлять по обычнымъ нормамъ, установленнымъ для постоянныхъ мостовъ, принимая давленіе вѣтра = 132 к/м.^{2} въ случаѣ нагрузки моста поѣздомъ и = 235 к/м.^{2} при отсутствіи поѣзда.

Тормазныя связи. Въ виду временнаго характера разборныхъ мостовъ, нѣтъ основанія усложнять ихъ конструкцію устройствомъ тормазныхъ связей; тѣмъ болѣе, что громадное большинство мостовъ русскихъ желѣзныхъ дорогъ пока не снабжено такими связями.

Для шоссейныхъ мостовъ разсчетную временную нагрузку можно принимать согласно циркуляру Управл. Внут. Вод. Пут. и Шос. Дор. отъ 21 декабря 1913 г., по которому фермы разсчитываются на два встрѣчныхъ ряда грузовыхъ автомобилей вѣсомъ по 9 тон., слѣдующихъ одинъ за другимъ съ промежутками въ 1 м, причемъ зазоръ между кузовами двухъ рядомъ стоящихъ автомобилей принимается не менѣе 0,4 м., а свободныя отъ автомобилей мѣста загружаются толпою вѣсомъ 440 к/м.^{2}. Слѣдуетъ замѣтить, что Военное Вѣдомство считаетъ излишнимъ разсчитывать мосты на два непрерывныхъ ряда автомобилей, основываясь на томъ, что въ дѣйствительности автомобили слѣдуютъ одинъ за другимъ съ интервалами около 10 саж. (30 шаговъ). При этомъ условіи равномѣрная нагрузка отъ двухъ рядовъ автомобилей получается не больше нагрузки отъ сплошной толпы вѣсомъ 440 к/м.^{2}. Проѣзжая часть разсчитывается на грузовые автомобили вѣсомъ по 9 тоннъ или на сплошную толпу вѣсомъ 530 к/м.^{2}.

§ 5. **Допускаемыя напряженія для литого желѣза.** На основаніи вышеприведеннаго постановленія Инженернаго Совѣта отъ 17 марта 1916 года за № 23 для литого желѣза съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву не менѣе 37 к/мм.^{2}, примѣняемаго для разборныхъ мостовъ, разрѣшается повысить на 33% тѣ допускаемыя напряженія, по которымъ въ настоящее время

предписано разсчитывать постоянные желѣзнодорожные мосты. На этомъ основаніи получаемъ слѣдующія допускаемыя напряженія для разборныхъ ж.-д. мостовъ.

1. **Фермы.** а) Основное напряженіе для растянутыхъ частей: при дѣйствіи одной вертикальной нагрузки $R = 1{,}33\ (750 + 2.l)$ к/см.². При совмѣстномъ дѣйствіи вертикальн. нагрузки и вѣтра $R' = 1{,}33\ (750 + 4.l)$ к/см.² причемъ l — пролетъ фермъ въ метрахъ.

b) Для сжатыхъ частей основное допускаемое напряженіе уменьшается въ зависимости отъ продольнаго изгиба путемъ умноженія на коэффиціентъ φ, разсчитываемый по формулѣ Навье.

c) Для скалываемыхъ частей допускаемое напряженіе = 0,75 отъ допускаемаго напряженія R на растяженіе.

2. **Связи.** Для діагоналей и распорокъ на растяженіе $R' = 1{,}33(750 + 4.l)$ к/см² Для сжатыхъ частей это напряженіе уменьшается на коэффиціентъ φ по Навье.

3. **Проѣзжая часть.** Основное напряженіе на растяженіе и сжатіе = 1,33.750 к/см.².

На скалываніе стѣнки 0,75.1,33.750 к/см.².

4. **Заклепки и болты.** Допускаемыя напряженія на перерѣзываніе:

а) въ фермахъ при дѣйствіи одной вертикальной нагрузки $0{,}8.1{,}33.(750 + 2.l)$ к/см.²; при совмѣстномъ дѣйствіи вертикал. нагрузки и вѣтра $0{,}8.1{,}33(750 + 4.l)$ к/см.².

b) въ связяхъ $0{,}8.1{,}33(750 + 4.l)$ к/см.².

c) въ проѣзжей части: въ соединеніяхъ составныхъ частей продольныхъ и поперечныхъ балокъ 1,33.643 = 855 к/см.²; въ прикрѣпленіи проѣзжей части къ фермамъ 1,33.536 = 713 к./см.².

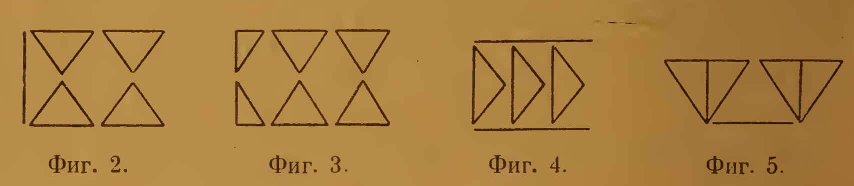
Допускаемое напряженіе на смятіе $2\ R = 2.1{,}33(750 + 2.l)$ к/см.²

III Глава. Системы разборныхъ фермъ.

Мы будемъ имѣть въ виду только фермы съ параллельными поясами, такъ какъ фермы съ криволинейными поясами мало пригодны для разборныхъ мостовъ. Разборныя фермы можно сконструировать такъ, чтобы онѣ разбирались только на прямые элементы, т. е. пояса, раскосы и стойки, или же фермы могутъ разбираться на болѣе крупныя части въ видѣ треугольниковъ, ромбовъ или иныхъ фигуръ, склепанныхъ изъ трехъ, четырехъ и болѣе прямыхъ элементовъ. Примѣняя эти два способа разложенія къ фермамъ съ различными системами рѣшетки, можно придумать много комбинацій разборныхъ фермъ съ ѣздою по верху и по низу. Здѣсь мы приводимъ только тѣ комбинаціи, которыя детально разработаны въ составленныхъ нами проектахъ съ указаніемъ номеровъ послѣднихъ.

§ 6. Фермы, разбираемыя только на прямые элементы. Способъ разложенія на прямые элементы можно примѣнить вообще ко всѣмъ фермамъ, независимо отъ системы ихъ рѣшетки. Нами разработаны только фермы съ треугольной рѣшеткой (проектъ № 20) и фермы двухрѣшетчатой системы (проекты № 7, 12, 30 и 39).

§ 7. Фермы, разбираемыя на треугольники. Способъ разложенія на треугольники примѣнимъ для большинства фермъ (системъ рѣшетокъ). Нами разработаны фермы четырехъ системъ: 1) двухрѣшетчатой системы (фиг. 2 и проектъ № 44), 2) ромбической системы (фиг. 3 и проектъ № 47), 3) полураскосной системы (фиг. 4 и проектъ № 43) и 4) съ треугольной рѣшеткой (фиг 5 и проектъ № 38 и 45). Фермы двухрѣшет-



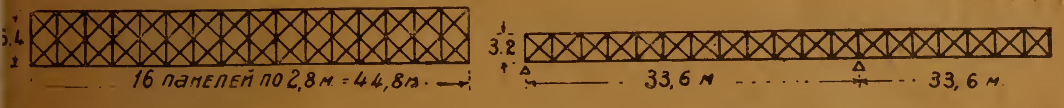
Фиг. 2. Фиг. 3. Фиг. 4. Фиг. 5.

чатой и ромбической системы можно сконструировать такъ, чтобы для малыхъ пролетовъ пользоваться только однимъ ярусомъ треугольниковъ, а для большихъ пролетовъ—обоими ярусами треугольниковъ. Кромѣ того, ромбическая ферма согласно фиг. 3 отличается тѣмъ, что она разлагается только на треугольники, между тѣмъ какъ другія фермы разлагаются не только на треугольники, но и на прямые элементы.

§ 8. Сравненіе вышеуказанныхъ системъ. Въ основу сравненія положимъ тѣ обстоятельства, которыя обусловливаютъ 1) скорость сборки, 2) простоту конструкціи и 3) приспособляемость разборныхъ фермъ къ мѣстнымъ условіямъ (см. § 3). Въ отношеніи второго и третьяго требованія всѣ разработанныя нами системы почти равноцѣнны; поэтому остановимся только на тѣхъ данныхъ, которыя обусловливаютъ скорость сборки. Число составныхъ частей и число болтовъ для ихъ взаимнаго соединенія гораздо больше въ тѣхъ фермахъ, которыя разбираются только на прямые элементы. Что же касается вѣса и размѣра отдѣльныхъ составныхъ частей, то, наоборотъ, они больше въ тѣхъ фермахъ, которыя разбираются на треугольники. Но такъ какъ вѣсъ и размѣръ частей оказываютъ на скорость сборки сравнительно меньшее вліяніе, чѣмъ число этихъ частей и число болтовъ, то слѣдуетъ отдать предпочтеніе тѣмъ фермамъ, которыя разбираются на треугольники.

§ 9. Сравненіе съ системой Эйфеля. Разборные мосты системы Эйфеля (фиг. 6) составлены изъ очень большого числа частей, для взаимнаго соединенія которыхъ требуется очень много болтовъ. Въ этомъ отношеніи фермы Эйфеля значительно уступаютъ нашимъ фермамъ, при разработкѣ

которыхъ главное вниманіе обращалось на уменьшеніе числа составныхъ частей и болтовъ. Обиліе этихъ частей усложняетъ конструкцію фермъ



Фиг. 6 Фиг. 7.

Эйфеля и замедляетъ ихъ сборку, сравнительно съ нашими болѣе простыми фермами. Другой недостатокъ фермъ Эйфеля заключается въ ихъ большомъ вѣсѣ. Приступая къ проектированію, мы располагали проектомъ разборнаго желѣзнодорожнаго съ ѣздою по низу моста системы Эйфеля, составленнымъ Управленіемъ Юго-Западныхъ ж. д. въ 1914 году для нормальнаго поѣзда 1907 года и для пролета фермъ въ 44,8 мет. (20 саж.). По тѣмъ же даннымъ, т. е. поѣзду и пролету фермъ, а также на основаніи тѣхъ же допускаемыхъ напряженій мы составили проектъ № 7 разборнаго моста съ двухрѣшетчатыми фермами (фиг. 17). Имѣя такимъ образомъ два проекта, составленныхъ въ совершенно аналогичныхъ условіяхъ, мы можемъ сравнить ихъ между собою. Каждая ферма Эйфеля составляется изъ 60 пролетныхъ треугольниковъ, 8 опорныхъ треугольниковъ и 34 стоекъ, а всего изъ 98 основныхъ элементовъ, для взаимнаго соединенія которыхъ надо собрать 675 отдѣльныхъ накладокъ, прокладокъ, распорокъ и діагоналей въ рѣшеткахъ и проч. Наша двухрѣшетчатая ферма составляется изъ 20 звеньевъ верхняго и нижняго пояса, 20 раскосовъ и 2-хъ опорныхъ стоекъ, а всего изъ 42 основныхъ элементовъ, для взаимнаго соединенія которыхъ надо собрать 94 отдѣльныхъ накладокъ, прокладокъ и проч. Слѣдовательно, ферма Эйфеля имѣетъ въ 2,3 раза больше основныхъ элементовъ и въ 7,2 разъ больше мелкихъ соединительныхъ частей. Что касается числа болтовъ, приходящихся на все пролетное строеніе, то оно 7606 для системы Эйфеля и 6082 болта для нашего моста, т. е. система Эйфеля требуетъ на 25% больше болтовъ [1]). Что касается количества желѣза, потребнаго для того и другого пролетнаго строенія, то оно указано въ слѣдующей табличкѣ.

	Система Эйфеля.	Система двухрѣшетчатая.	Разница въ %.
Вѣсъ фермъ со связями . . . . кил.	156032	89409	+ 74
„ поперечныхъ балокъ . кил.	12635	13813	— 9
„ продольныхъ балокъ . . . кил.	6726	12403	— 46
Вѣсъ всего пролетнаго строенія . кил.	175393	115625	+ 52

[1]) При сравненіи съ нашими двухрѣшетчатыми и ромбическими фермами, разбираемыми на минимальное число треугольныхъ звеньевъ (проекты № 44 и 47), выводъ получается еще менѣе благопріятный для системы Эйфеля.

Слѣдовательно, фермы системы Эйфеля на 74% тяжелѣе двухрѣшетчатыхъ фермъ, а все пролетное строеніе тяжелѣе на 52%. При этомъ слѣдуетъ замѣтить, что въ мостѣ системы Эйфеля, спроектированномъ по габариту подвижного состава, ширина въ свѣту между фермами назначена на 1 метр. меньше, чѣмъ въ нашемъ мостѣ, спроектированномъ по габариту приближенія строеній къ путямъ.

Къ достоинствамъ системы Эйфеля слѣдуетъ отнести ея приспособляемость къ разнымъ пролетамъ, такъ какъ фермы допускаютъ не только ихъ укороченіе, но и уменьшеніе ихъ высоты, путемъ обращенія двухъярусныхъ фермъ въ одноярусныя съ сохраненіемъ только нижняго яруса треугольныхъ звеньевъ (фиг. 7). Это выгодно въ томъ отношеніи, что, въ случаѣ уменьшенія пролета, одного комплекта 20 саж. фермъ достаточно для перекрытія 4-хъ пролетовъ по 10 саж.; однако для образованія верхняго пояса и проѣзжей части надо располагать особыми запасными элементами.

IV Глава. Описаніе проектовъ.

Чтобы не повторяться при описаніи проектовъ, укажемъ здѣсь тѣ особенности, которыя являются общими для всѣхъ проектовъ. 1) При подборѣ сѣченія частей мы стремились къ тому, чтобы въ каждомъ проектѣ число сортовъ фасоннаго желѣза было какъ можно меньше. Благодаря этому, пояса фермъ на всемъ ихъ протяженіи спроектированы одинаковаго сѣченія, подобраннаго по наибольшему усилію въ средней панели. Во всѣхъ проектахъ, кромѣ двухъ, раскосы также спроектированы одинаковаго сѣченія во всѣхъ панеляхъ, соотвѣтственно усилію въ наиболѣе напряженномъ раскосѣ. 2) При подборѣ сѣченія частей мы широко пользовались швеллерами, взамѣнъ листовъ и уголковъ, сокращая такимъ образомъ количество заклепочныхъ соединеній. 3) Мы стремились создать какъ можно больше одинаковыхъ частей, изготовляемыхъ по одинаковымъ шаблонамъ. 4) Чтобы упростить сборку проѣзжей части, поперечныя балки спроектированы свободно опирающимися на узлы фермъ, а продольныя балки—свободно опирающимися на поперечныя балки.

§ 10. Проектъ № 20 желѣзнодорожнаго съ ѣздой по верху моста отверстіемъ 10 саж. (фиг. 8). Пролетное строеніе состоитъ изъ двухъ фермъ пролетомъ 22,8 мет., на которыхъ уложены сближенныя деревянныя поперечины, поддерживающія рельсовый путь. Фермы разбираются исключительно на прямые элементы. Фермы, высотою 3,5 мет., имѣютъ параллельныя пояса и рѣшетку треугольной системы съ дополнительными стойками. Кромѣ общихъ для всѣхъ нашихъ проектовъ особенностей, указанныхъ въ началѣ IV главы, настоящій проектъ имѣетъ слѣдующія отличительныя черты.

Верхній поясъ подобранъ коробчатаго, а нижній поясъ—одностѣнча-

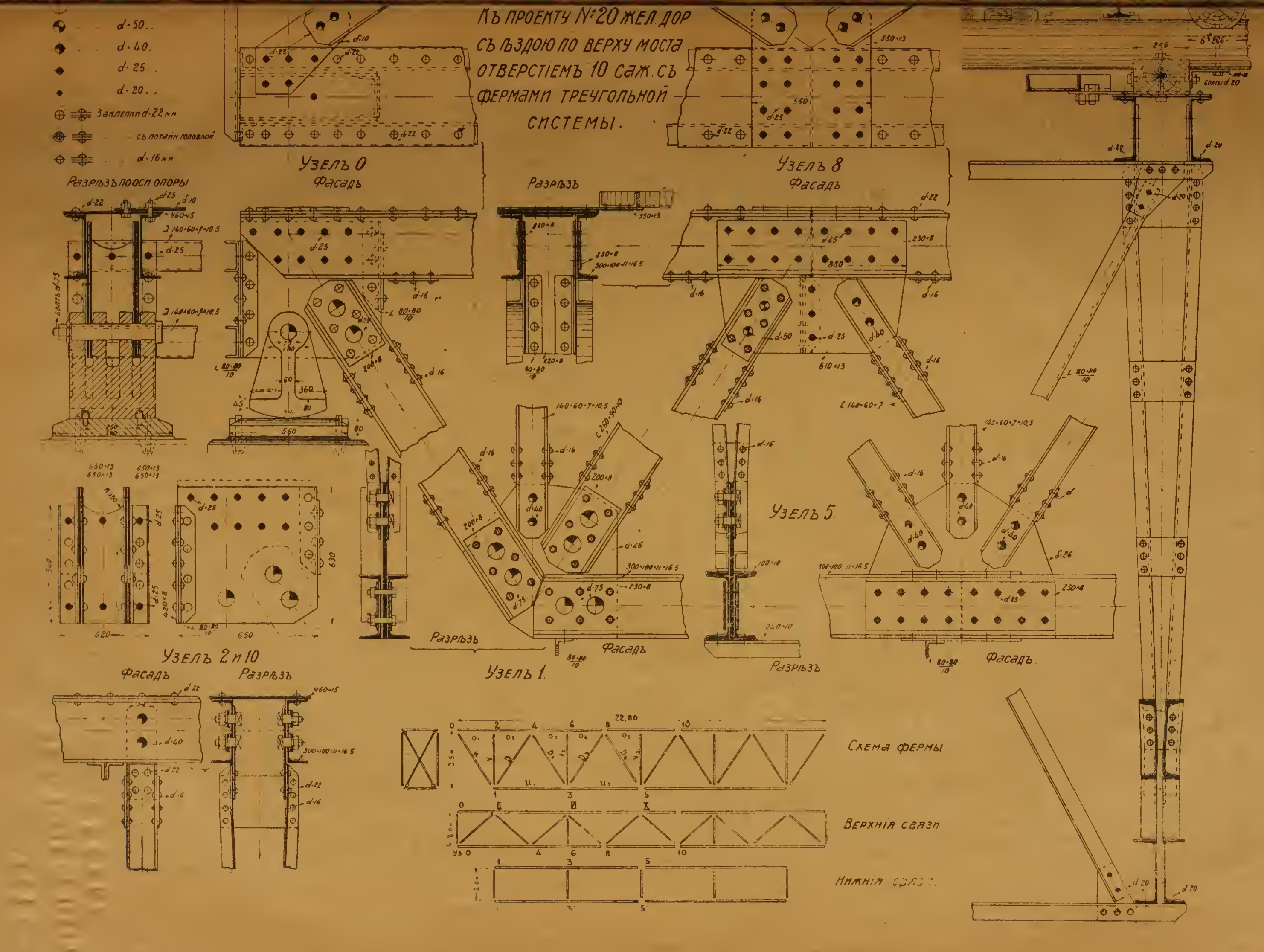
таго сѣченія; раскосы и стойки имѣютъ клиновидную форму. Этимъ достигается уменьшеніе числа болтовъ въ нижнихъ узлахъ и количества желѣза въ нижнемъ поясѣ. Для ускоренія сборки число болтовъ уменьшено за счетъ увеличенія ихъ діаметра, причемъ въ каждомъ концѣ раскосовъ и стоекъ поставлено только по два болта.

Разсчетная временная нагрузка. Мостъ разсчитанъ на нормальный поѣздъ, предписанный Мин. Пут. Сообщ. въ 1907 году, согласно приказу отъ 14 февраля 1907 г. за № 19.

Допущенныя напряженія. Согласно постановленію Инженернаго Совѣта при Мин. Пут. Сообщ. отъ 17 марта 1916 г. за № 23, для литого желѣза съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву не менѣе 37 к/мм.^{2} допущены повышенныя напряженія, а именно на 33% сравнительно съ напряженіями, предписанными Мин. Пут. Сообщ. для постоянныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ. Основное напряженіе для растянутыхъ частей фермъ принято $R = 1{,}33\,(750 + 2\,.\,l) = 1060$ к/см.^{2} при дѣйствіи одной вертикальной нагрузки, и $R' = 1{,}33\,(750 + 4\,.\,l) = 1120$ к/см.^{2} при совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра. Остальныя напряженія приняты согласно указаннымъ въ § 5.

Описаніе конструкціи. I. Проѣзжая часть. а) Къ горизонтальнымъ листамъ верхняго пояса фермъ приболченъ продольный лежень сѣченіемъ 6.4-верш., въ который врублены на взаимномъ разстояніи въ 0,40 мет. ось отъ оси деревянныя подрельсныя поперечины изъ круглаго 6-верш. лѣса, отесаннаго на два канта. Поперечины приняты длиною 4,1 мет. Отъ приподнятія поперечины закрѣплены къ продольному лежню помощью болтовъ и согнутыхъ желѣзныхъ листовъ толщиною 10 мм. На случай схода колесъ подвижного состава, устроены наружные охранные брусья изъ круглаго 6-верш. лѣса. которые отесаны на два канта и приболчены къ поперечинамъ въ разстояніи 0,30 мет. отъ рельса. Для прохода дорожныхъ агентовъ и стражи устроенъ верхній настилъ въ три дорожки, каждая изъ трехъ досокъ 6.1¼-верш. Перила состоятъ изъ стоекъ углового желѣза 80.80.10, прикрѣпленныхъ къ концамъ длинныхъ поперечинъ болтами діам. 16 мм. и поручней такого же профиля, прикрѣпленныхъ къ стойкамъ болтами діам. 20 мм.

II Фермы съ параллельными поясами и треугольною рѣшеткою съ дополнительными стойками (фиг. 8) имѣютъ слѣдующіе основные размѣры: разсчетный пролетъ—22,8 м. раздѣленъ на 10 панелей по 2,28 м.; высота фермъ—3,5 м.; разстояніе между осями фермъ—2 м. Верхній поясъ коробчатаго сѣченія составленъ изъ двухъ швеллеровъ № 30 Н. Р С., съ горизонтальнымъ листомъ 460.15 мм. и имѣетъ на всемъ протяженіи всего два стыка въ узлахъ 8. Нижній поясъ составленъ изъ двухъ швеллеровъ № 30 Н. Р. С., сдвинутыхъ до разстоянія 26 мм. въ свѣту между стѣнками и имѣетъ одинъ стыкъ по срединѣ пролета. Наклонный крайній элементъ нижняго пояса составленъ изъ двухъ швеллеровъ № 26 Н. Р. С.


КЪ ПРОЕКТУ №20 ЖЕЛ. ДОР.
СЪ ѢЗДОЮ ПО ВЕРХУ МОСТА
ОТВЕРСТІЕМЪ 10 САЖ. СЪ
ФЕРМАМИ ТРЕУГОЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ.
d·50
d·40
d·25
d·20
Заклепки d·22 мм
съ потайн. головкой
d·16 мм
Разрѣзъ по оси опоры
Узелъ 0
Фасадъ
Разрѣзъ
Узелъ 8
Фасадъ
Узелъ 1.
Фасадъ
Разрѣзъ
Узелъ 5.
Фасадъ
Разрѣзъ
Узелъ 2 и 10
Фасадъ
Разрѣзъ
Схема фермы
Верхнія связи

Фиг. 8.

и имѣетъ клиновидную форму, что вызывается прикрѣпленіемъ верхняго конца къ двустѣнчатому верхнему поясу, а нижняго конца—къ одностѣнчатому нижнему поясу. Такую же клиновидную форму имѣютъ всѣ раскосы и стойки. Первый восходящій раскосъ D_1 составленъ изъ двухъ швеллеровъ № 26 Н. Р. С. и имѣетъ ту же клиновидную форму. Второй нисходящій и третій восходящій раскосы D_2 и D_3 совершенно одинаковы и составлены изъ двухъ швеллеровъ № 20 Н. Р. С. Четвертый нисходящій раскосъ D_4 составленъ изъ двухъ швеллеровъ № 14 Н. Р. С. Всѣ стойки составлены изъ двухъ швеллеровъ № 14 Н. Р. С., имѣютъ одинаковую длину и ничѣмъ не разнятся между собой. Узлы верхніе устроены при помощи двухъ фасонныхъ накладокъ толщиной 13 мм., а нижніе узлы—при помощи одной фасонной прокладки толщиной 26 мм. Всѣ раскосы и стойки, а также первый элементъ нижняго пояса прикрѣплены къ узловымъ накладкамъ и прокладкамъ двумя болтами въ каждомъ концѣ. Болты примѣнены діаметромъ 75, 50, 40, 25 и 20 мм., а заклепки—діаметромъ 22 и 16 мм.

III. Связи между фермами. Фермы соединены между собою верхними продольными связями треугольной системы, діагонали коихъ исполнены изъ одного швеллера № 20 Н. Р. С., обращеннаго полками вверхъ, причемъ для стока дождевой воды каждый швеллеръ снабженъ тремя дырами. Нижнія связи состоятъ изъ однѣхъ распорокъ, поставленныхъ въ каждомъ узлѣ нижняго пояса. Распорки узловъ 1 и 5 исполнены изъ одного уголка 80.80.10. Распорки узловъ 3 составлены изъ двухъ уголковъ 80.80.10; между уголками зажаты фасонныя прокладки, служащія для прикрѣпленія діагоналей поперечныхъ связей. Поперечныя связи устроены только въ двухъ мѣстахъ, въ плоскости стоекъ V_2, и состоятъ изъ перекрестныхъ діагоналей каждая изъ одного уголка 80.80.10 мм., изъ нижней и верхней распорки, каждая изъ двухъ уголковъ 80.80.10 мм. Между уголками распорокъ зажаты фасонныя прокладки, къ которымъ концы діагоналей прикрѣплены двумя болтами діам. 20 мм.

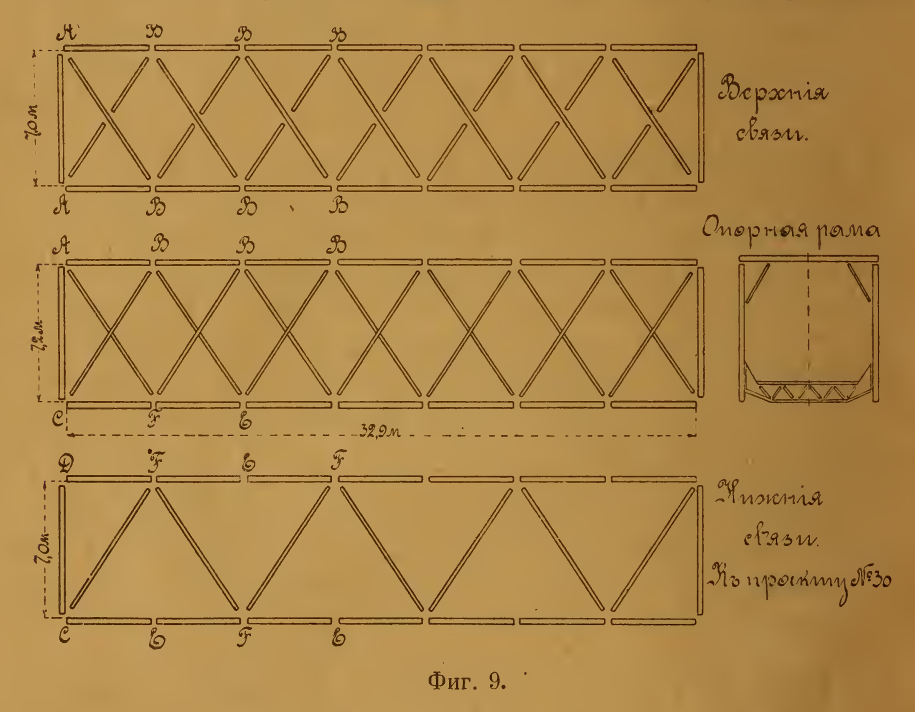
Опорныя части. Подвижная опора устроена при помощи стального качающагося сектора, прикрѣпленнаго къ опорному узлу фермы при помощи шарнирнаго болта діам. 75 мм. Этотъ болтъ пропущенъ черезъ головку сектора, которая представляетъ круглую втулку, соединенную съ вертикальною шейкою и съ подошвою тремя парами ребордъ. Головка сектора имѣетъ два прорѣза, въ которые пропущены накладки опорнаго узла. Секторъ покоится на стальной плитѣ, которая снабжена двумя зубьями, входящими въ соотвѣтственныя гнѣзда сектора. Неподвижная опора устроена въ видѣ высокаго стального балансира, который отъ сектора отличается тѣмъ, что онъ имѣетъ плоскую подошву, а не цилиндрическую, какъ секторъ.

Вѣсъ металла (литого желѣза и стали).

	Всего.	На пог. мет. моста.
Обѣ фермы	19545 кил.	860 кил.
Связи между фермами	1675 „	74 „
Полотно и перила	740 „	33 „
Опорныя части	1750 „	77 „
Всего . . .	23710 кил.	1044 кил.

Наибольшій вѣсъ отдѣльныхъ частей. Элементъ верхняго пояса—95 пуд.; элементъ нижняго пояса—60 пуд.; раскосъ D_1—20 пуд.

§ 11. **Проектъ № 30 шоссейнаго съ ѣздою по низу моста отверстіемъ 15 саж.** [1]) (Фиг. 9). Пролетное строеніе состоитъ изъ двухъ фермъ двухрѣ-



Фиг. 9.

шетчатой системы и проѣзжей части изъ желѣзныхъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ, поддерживающихъ двойной деревянный настилъ. Двухрѣшетчатыя фермы съ параллельными поясами пролетомъ 32,998 м. разбираются исключительно на прямые элементы, причемъ каждая ферма—на 30 элементовъ. Фермамъ придана большая высота въ 7,2 м. ($^1/_{4,6}$ l.) для того, чтобы фермы можно было соединить между собой верхними продольными связями. Кромѣ общихъ для всѣхъ нашихъ проектовъ особенностей,

[1]) Главнымъ Военно-Техническимъ Управленіемъ этотъ проектъ рекомендованъ для примѣненія на театрѣ военныхъ дѣйствій (журналъ № 113 Техническаго Комитета Главн. Воен. Техн. Упр. отъ 1 февраля 1916 г.).

указанныхъ въ началѣ IV главы, настоящій проектъ выдѣляется устройствомъ свободной проѣзжей части, примѣненнымъ впервые въ проектѣ за № 12. Поперечныя балки спроектированы сквозными; ихъ концы скошены снизу, имѣютъ сплошную стѣнку и свободно опираются на нижніе узлы фермъ. Неразрѣзныя продольныя балки уложены на поперечныхъ балкахъ. Свободнымъ опираніемъ балокъ достигается простота сборки и независимая работа фермъ и проѣзжей части. Раскосы прикрѣплены къ узламъ при помощи одного болта діаметромъ 40 мм. для восходящихъ и 55 мм.—для нисходящихъ раскосовъ. Этимъ достигнуто уменьшеніе числа болтовъ, а также строительной высоты (сравнительно съ проектомъ № 12), вслѣдствіе уменьшенія высоты фасонныхъ накладокъ въ узлахъ фермъ.

Разсчетная временная нагрузка. Фермы разсчитаны на два встрѣчныхъ ряда грузовыхъ автомобилей вѣсомъ по 9 тон. съ оставленіемъ зазора въ 1 м. между двумя смежными автомобилями одного и того же ряда и съ загрузкою свободныхъ мѣстъ толпою вѣсомъ 440 к. на м^2. Проѣзжая часть разсчитана на тѣ же грузовые автомобили и отдѣльно на сплошную толпу вѣсомъ 530 к. на м^2.

Допущенныя напряженія для литого желѣза. 1. Фермы. Основное напряженіе для **растянутыхъ** частей при дѣйствіи одной вертикальной нагрузки—1400 к/см.^{2}, а при совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра 1500 к/см.^{2}. Для **сжатыхъ** частей допускаемое напряженіе уменьшено въ зависимости отъ продольнаго изгиба, путемъ умноженія на коэффиціентъ φ, который разсчитанъ по формулѣ Навье. Для **скалываемыхъ** частей допускаемое напряженіе принято 0,80 отъ допускаемаго напряженія на растяженіе и сжатіе.

2. Связи. Для діагоналей связей допускаемое напряженіе на растяженіе принято 1500 кил./см.^{2}. Для сжатыхъ діагоналей это напряженіе уменьшено умноженіемъ на коэффиціентъ φ.

3. Проѣзжая часть. Основное напряженіе на растяженіе и сжатіе 1000 к./см.^{2}. На скалываніе стѣнки—600 кил./см.^{2}, при условіи, что косыя напряженія не повѣряются.

4. Заклепки и болты. Допускаемыя напряженія на перерѣзываніе:

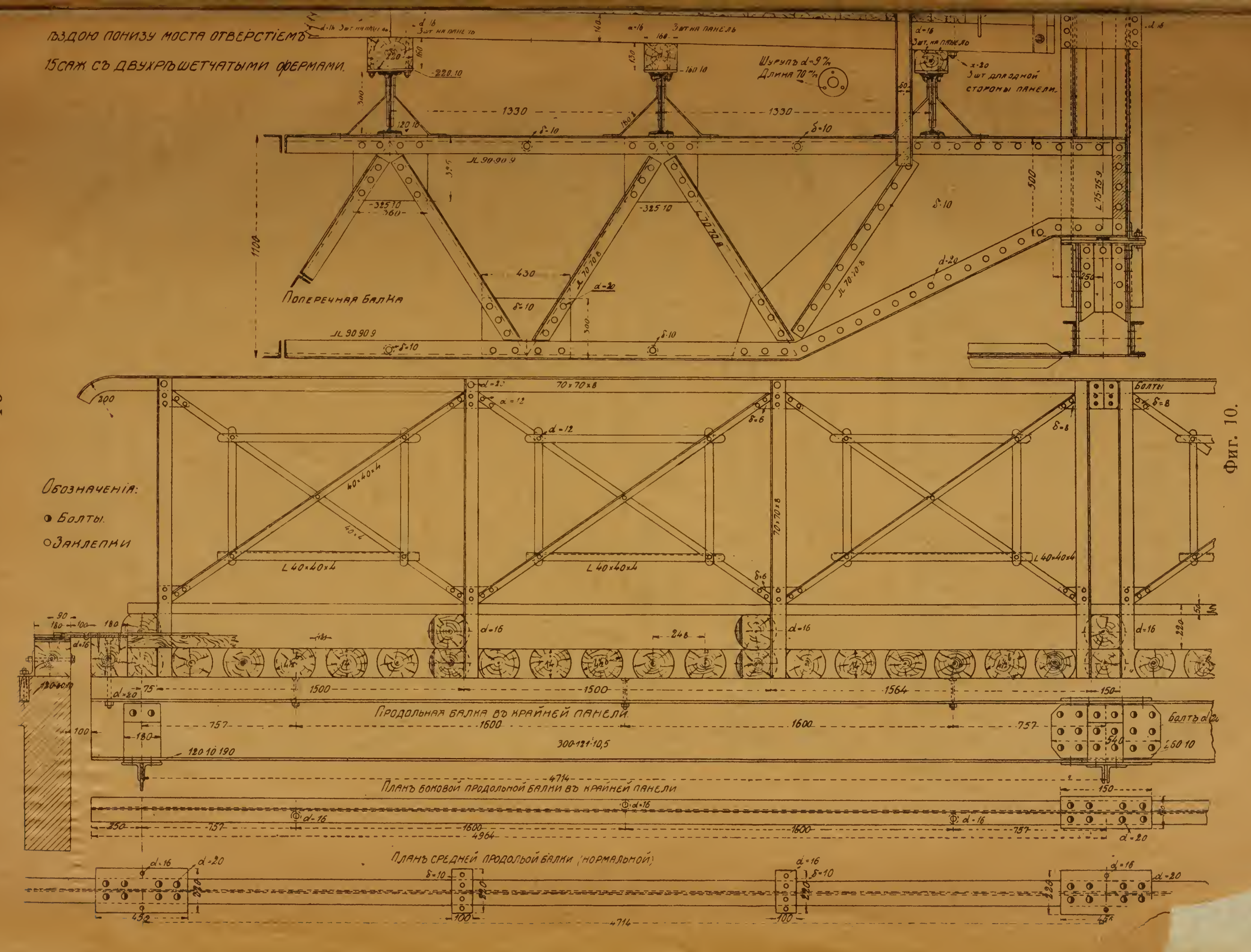
а) Въ фермахъ: въ соединеніяхъ сжатыхъ или вытянутыхъ частей при дѣйствіи вертикальной нагрузки—1000 к./см.^{2}, а при дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра—1100 кил./см.^{2}.

б) Въ связяхъ: въ соединеніяхъ сжатыхъ или вытянутыхъ частей—1000 кил./см.^{2}.

в) Въ проѣзжей части: въ соединеніяхъ составныхъ частей продольныхъ и поперечныхъ балокъ—900 кил./см.^{2}.

Допущенное напряженіе на смятіе—2500 кил./см.^{2}.

Описаніе конструкціи. Полотно проѣзжей части состоитъ изъ верхняго продольнаго досчатаго настила и нижняго поперечнаго бревенчатаго настила (фиг. 10). Верхній настилъ служитъ для предохраненія отъ изнашива-


ѣздою понизу моста отверстіемъ
15саж. съ двухрѣшетчатыми фермами.
Шурупъ d=9 ‰
Длина 70 ‰
3шт. для одной стороны панели.
Поперечная балка
Обозначенія:
• Болты.
○ Заклепки
Болты
Продольная балка въ крайней панели
Планъ боковой продольной балки въ крайней панели
Планъ средней продольной балки (нормальной)

Фиг. 10.

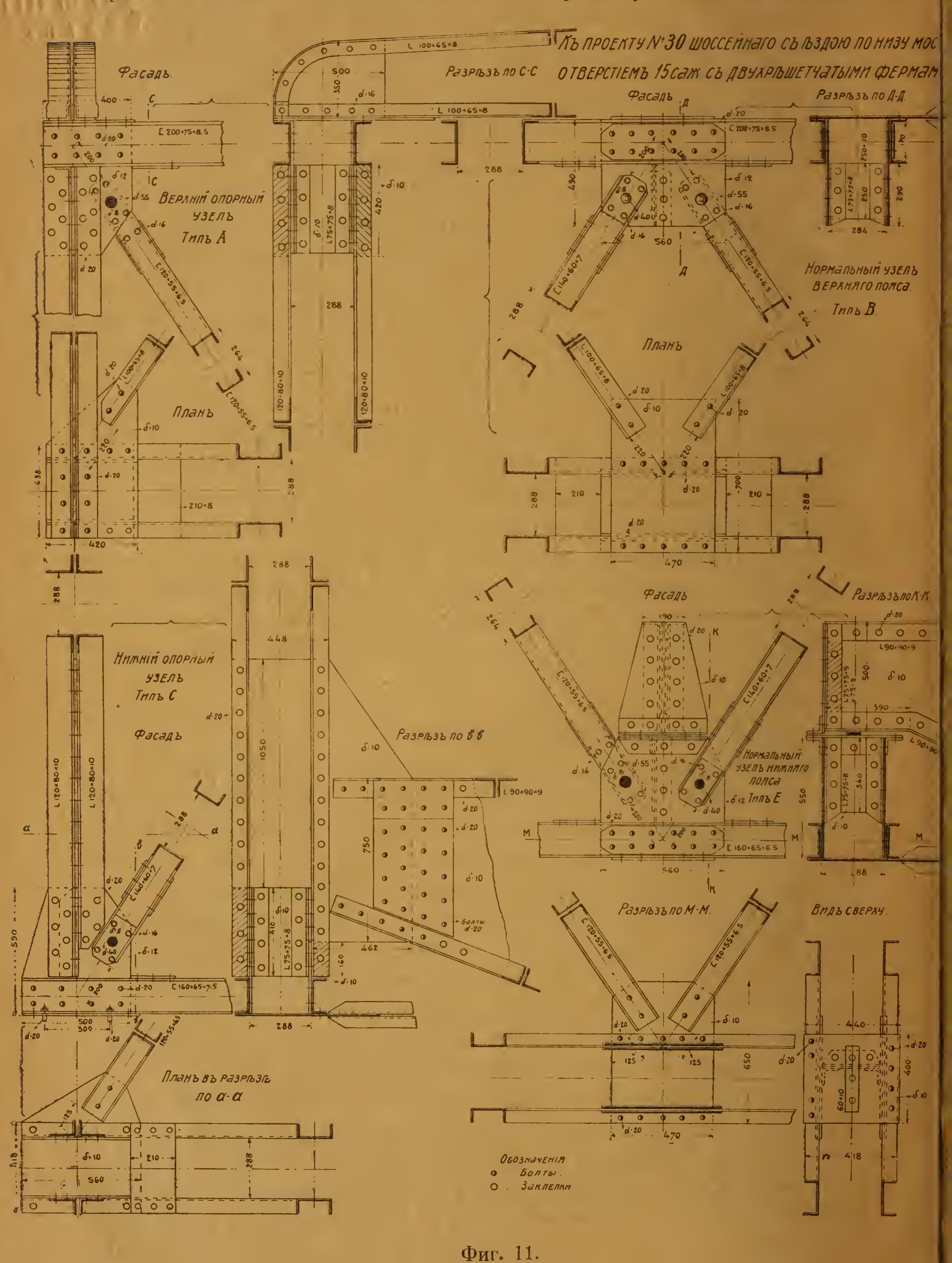
нія болѣе солиднаго и дорогого нижняго настила и составленъ изъ сосновыхъ досокъ 5 вер. $\times 2^1/_2$ дюйма, уложенныхъ вплотную. Для предохраненія верхняго настила отъ износа, вдоль моста уложены 4 колесныя дорожки изъ рифленаго полосового желѣза (350.10 мм.). Нижній настилъ составленъ изъ сосновыхъ $4^1/_2$ вершк. бревенъ, стесанныхъ на два канта и уложенныхъ поперекъ моста съ зазорами въ 4,8 см. Нижній настилъ покоится на подушкахъ изъ сосновыхъ брусьевъ, уложенныхъ на продольныхъ балкахъ. Высота подушекъ увеличивается отъ края къ серединѣ проѣзжей части; этимъ достигается поперечный уклонъ настила, необходимый для стока воды. Около отбойныхъ брусьевъ установлены чугунныя водосточныя трубы (6 штукъ на весь мостъ). Брусья няжняго настила прикрѣплены къ подушкамъ при помощи гвоздей длиною 230 мм. изъ квадратнаго желѣза 10.10 мм. Передъ забивкой этихъ гвоздей, въ поперечинахъ и подушкахъ слѣдуетъ просверлить дыры діаметромъ около 9 мм.

Продольныя балки (фиг. 10) въ числѣ пяти спроектированы изъ двутавроваго желѣза № 30 Р. Н С. и уложены на верхнемъ поясѣ поперечныхъ балокъ. Длина продольныхъ балокъ = 4,714 м. въ промежуточныхъ и 4,964 м.—въ крайнихъ панеляхъ. Стыки всѣхъ пяти продольныхъ балокъ устроены надъ каждой промежуточной поперечной балкой и перекрыты двумя вертикальными накладками сѣченіямъ 260.10 мм. и двумя горизонтальными накладками разной ширины. Отъ опрокидыванія продольныя балки удерживаются посредствомъ подкосовъ изъ полосового желѣза, нижній конецъ которыхъ приболченъ къ верхнему поясу поперечныхъ балокъ.

Поперечныя балки (фиг. 10) высотою 1,1 м.—сквозныя. Верхній и нижній поясъ составлены изъ 2-хъ уголковъ 90.90.9 мм. Треугольную рѣшетку образуютъ раскосы изъ двухъ уголковъ 70.70.8 мм. Концы балокъ имѣютъ сплошную стѣнку и скошены снизу для увеличенія устойчивости и для уменьшенія строительной высоты. Промежуточныя поперечныя балки свободно опираются на нижніе узлы фермъ при посредствѣ опорнаго бруска, обезпечивающаго центральную передачу давленія. Чтобы удержать балки отъ опрокидыванія, къ ихъ торцамъ приклепано по фасонной накладкѣ съ горизонтальнымъ уголкомъ, который приболчивается къ опорному листу, укрѣпленному на фасонныхъ накладкахъ узла. Опорныя поперечныя балки входятъ въ составъ опорныхъ рамъ и консольные листы этихъ балокъ зажаты между уголками опорныхъ стоекъ,

Фермы двухрѣшетчатой системы съ параллельными поясами (фиг. 11) имѣютъ слѣдующіе основные размѣры: разсчетный пролетъ 32,998 м. раздѣленъ на 7 панелей по 4,714 м.; высота фермъ—7,2 м.; разстояніе между осями фермъ—7,0 м.; ширина проѣзжей части между отбойными брусьями—2 5 саж. Каждая ферма составлена изъ 7 элементовъ верхняго и 7 элементовъ нижняго пояса, изъ 7 восходящихъ и 7 нисходящихъ раскосовъ и изъ 2-хъ опорныхъ стоекъ, а всего изъ 30 прямыхъ элементовъ. Элементы

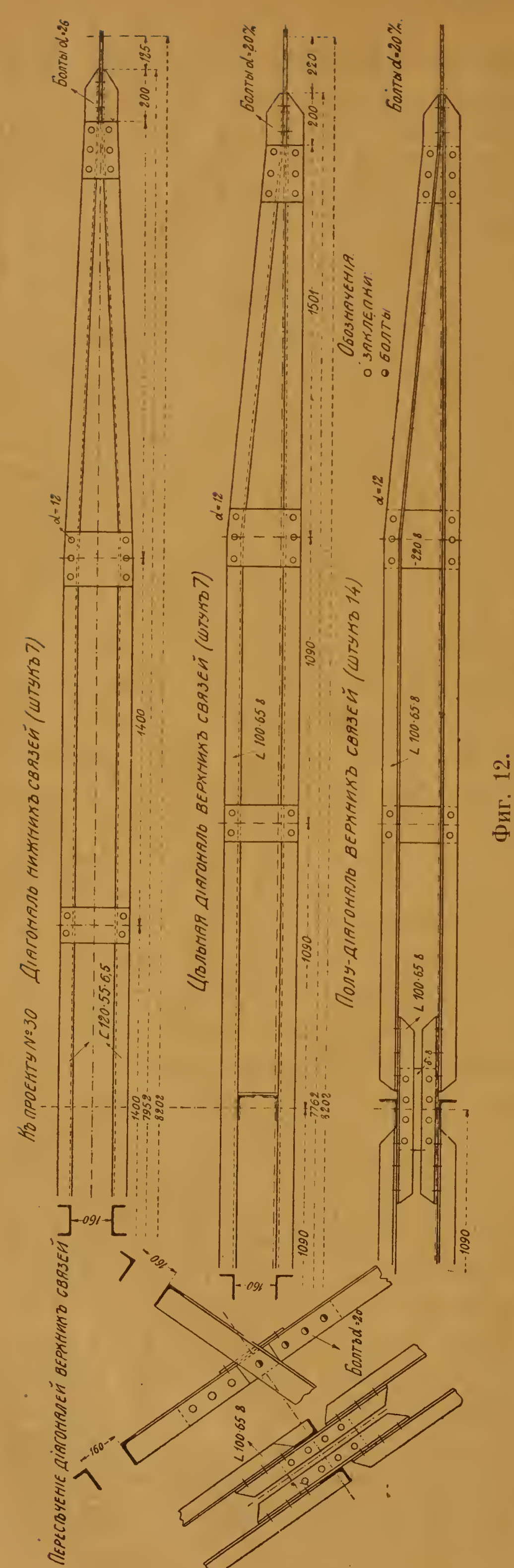
верхняго пояса, длиною 4,714 м. для промежуточныхъ и—4,844 м. для



Фиг. 11.

крайнихъ панелей, составлены каждый изъ 2-хъ швеллеровъ № 20 Р. Н. С., связанныхъ между собою планками по верху и по низу. Элементы нижняго пояса длиною 4,714 м. для промежуточныхъ и —4,964 м. для крайнихъ панелей, образованы изъ 2-хъ швеллеровъ № 16 Р. Н. С., связанныхъ между собою планками по верху и по низу. Восходящіе раскосы составлены каждый изъ 2-хъ швеллеровъ № 14 Р. Н. С., а нисходящіе—изъ 2-хъ швеллеровъ № 12 Р. Н. С., причемъ въ нисходящихъ раскосахъ полки швеллеровъ обращены внутрь, а въ восходящихъ раскосахъ—наружу, такъ что нисходящіе раскосы проходятъ между швеллерами восходящихъ раскосовъ; въ мѣстѣ взаимнаго пересѣченія раскосы связаны между собою двумя болтами діам. 20 мм., по одному на каждую стѣнку. Вращая раскосы около этихъ болтовъ, можно вложить одинъ раскосъ въ другой и получить удобные для перевозки прямые элементы. Способъ складыванія перекрестныхъ раскосовъ страдаетъ тѣмъ недостаткомъ, что изъ планокъ, связывающихъ оба швеллера восходящихъ раскосовъ, можно приклепывать только одну половину, а вторую половину планокъ, подлежащую удаленію передъ складываніемъ раскосовъ, надо прикрѣплять болтами, что замедляетъ сборку. Вслѣдствіе этого заводы иногда предпочитаютъ отказаться отъ складыванія раскосовъ. Всѣ восходящіе раскосы спроектированы одинаковыхъ размѣровъ съ одинаковымъ расположеніемъ болтовъ и заклепокъ. Всѣ нисходящіе раскосы также заготовляются по одному шаблону. Опорныя стойки составлены каждая изъ 4-хъ уголковъ 120.80.10 мм., образующихъ два тавра.

Нижніе узлы фермъ образованы каждый изъ двухъ фасонныхъ накладокъ толщиной 12 мм., къ которымъ приболчены два элемента нижняго пояса и два раскоса, а на узловыя накладки опирается конецъ поперечной балки. Обѣ узловыя накладки связаны между собою вертикальною діафрагмою. Швеллера нижняго пояса доведены до середины узла и ихъ стыки перекрыты обѣими узловыми накладками, 2-мя вертикальными накладками толщиною 20 мм., помѣщенными внутри швеллеровъ, и одною горизонтальною накладкою толщиною 10 мм., которая приболчена къ швеллерамъ снизу и служитъ также для прикрѣпленія діагоналей нижнихъ связей. Каждый конецъ раскосовъ прикрѣпленъ къ узловымъ накладкамъ однимъ болтомъ діаметромъ 40 мм. для восходящихъ и 55 мм. для нисходящихъ раскосовъ. Во избѣжаніе смятія тонкой стѣнки швеллеровъ, образующихъ раскосы, къ каждой стѣнкѣ приклепано по накладкѣ толщиною 8 мм. Конецъ поперечной балки опирается на брусокъ сѣченіемъ 60.10 мм., приклепанный къ горизонтальному листу, который опирается на обѣ узловыя накладки и на діафрагму между ними и къ этимъ тремъ листамъ прикрѣпленъ тремя горизонтальными уголками 75.75.8 мм. Сверху къ опорному листу приболченъ горизонтальный уголокъ 75.75.8 мм., приклепанный къ фасонной накладкѣ, которая прикрѣплена къ торцу поперечной балки и удерживаетъ ее отъ опрокидыванія. Общее число болтовъ, которые при



Фиг. 12.

сборкѣ надо поставить, составляетъ для каждаго промежуточнаго узла нижняго или верхняго пояса по 34 болта діам. 20 мм. и 2 болта діам. 40 и 55 мм. Верхніе узлы фермъ сконструированы аналогично нижнимъ узламъ.

Связи между фермами (фиг. 9, 11 и 12). Фермы соединены между собой верхними и нижними продольными связями, а также опорными рамами. Верхнія связи двухрѣшетчатой системы состоятъ изъ 7 цѣльныхъ и 7 составныхъ діагоналей, каждая изъ 2-хъ половинъ, которыя въ мѣстѣ пересѣченія съ цѣльными діагоналями соединены между собою двумя короткими уголками. Діагонали рыбообразной формы составлены изъ 2-хъ уголковъ 100.65.8 мм. и болтами діам. 20 мм. прикрѣплены къ горизонт. накладкамъ въ узлахъ фермъ. Нижнія связи—треугольной системы, причемъ поперечныя балки служатъ дополнительными распорками. Діагонали рыбообразной формы составлены изъ 2-хъ швеллеровъ № 12 Р. Н. С. и болтами діам. 20 мм. прикрѣплены къ горизонт. накладкамъ въ нижнихъ узлахъ фермъ. Опорныя рамы составлены изъ опорной поперечной балки, двухъ опорныхъ стоекъ и верхней распорки съ двумя подкосами, закрѣпляющими верхніе углы. Верхняя распорка составлена изъ 4-хъ уголковъ 100.65.8 мм., связанныхъ между собою вер-

тикальными планками. Для удобства сборки верхняя распорка положена на верхніе пояса фермъ и прикрѣплена къ нимъ болтами.

Діаметры заклепокъ и болтовъ. Заклепки примѣнены діаметромъ 20, 16 и 12 мм., а болты діаметромъ 55, 40 и 20 мм.

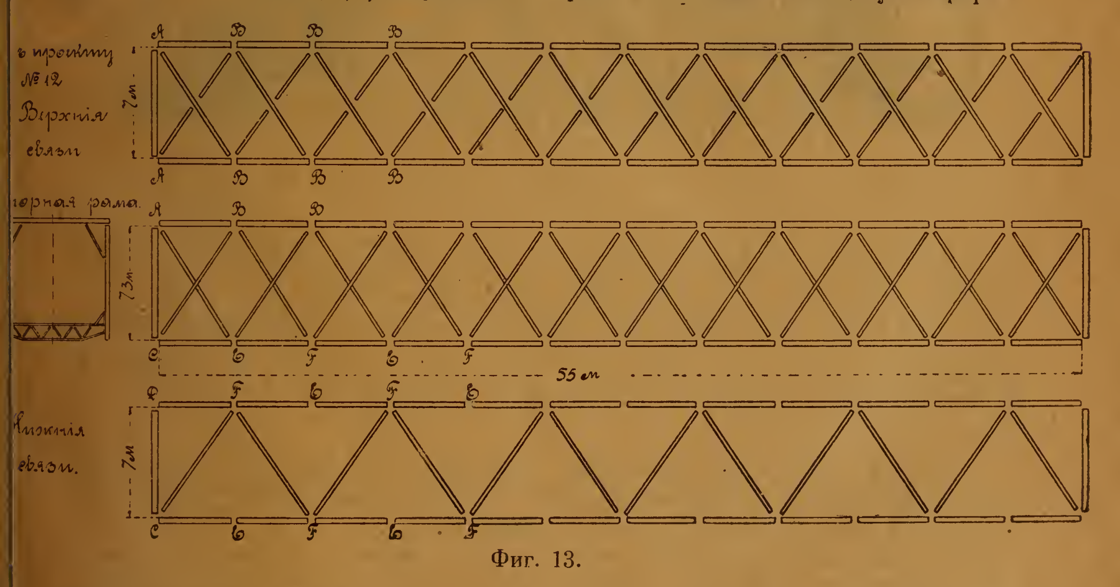
Опорныя части спроектированы изъ литой стали. Подвижная однокатковая опора составлена изъ верхняго балансира, катка и нижней плиты. Неподвижная опора составлена изъ верхняго и нижняго балансира съ цилиндрическимъ шарниромъ.

Вѣсъ металла (литого желѣза и стали).

	Всего.	На пог. мет. моста.
Обѣ фермы	20713 кил.	628 кил.
Связи между фермами	6436 *	195 „
Поперечныя балки	7011 „	213 „
Продольныя балки	9839 „	298 „
Полотно проѣзжей части.	3990 „	121 „
Перила	2075 „	63 „
Опорныя части	1704 „	52 „
Всего. . . .	51768 кил.	1570 к/п. м.

Наибольшій вѣсъ отдѣльныхъ частей. Поперечная балка— 54 пуд.; продольная балка—18 пуд.; опорная стойка—30 пуд.; элементъ верхняго пояса—17 пуд.; элементъ нижняго пояса—13 пуд.

§ 12. Проектъ № 12 шоссейнаго съ ѣздою по низу моста отверстіемъ 25 саж. (фиг. 13, 14 и 15)*). Пролетное строеніе состоитъ изъ двухъ фермъ



Фиг. 13.

двухрѣшетчатой системы и проѣзжей части изъ желѣзныхъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ, поддерживающихъ двойной деревянный настилъ. Двухрѣшетчатыя фермы съ параллельными поясами пролетомъ 55 м. разби-

раются исключительно на прямые элементы, причемъ каждая ферма —на 50 элементовъ *). Мы не будемъ описывать особенностей настоящаго проекта, такъ какъ онъ составленъ по образцу предыдущаго проекта за № 30, отличаясь отъ него болѣе сильными сѣченіями всѣхъ элементовъ фермъ и способомъ прикрѣпленія раскосовъ фермъ къ узламъ.

Фиг. 14.

Разсчетная временная нагрузка и допущенныя напряженія для литого желѣза тѣ же, какъ въ предыдущемъ проектѣ за № 30.

Описаніе конструкціи. Мостовое полотно, продольныя и поперечныя балки почти не отличаются отъ тѣхъ же частей въ проектѣ за № 30; поэтому ссылаемся на данное тамъ описаніе.

---

*) Главнымъ Военно-Техническимъ Управленіемъ этотъ проектъ рекомендованъ для примѣненія на театрѣ военныхъ дѣйствій (журналъ № 396 Техническаго Комитета Главн. Воен.-Техн. Упр. отъ 2[1] марта 1916 г.).

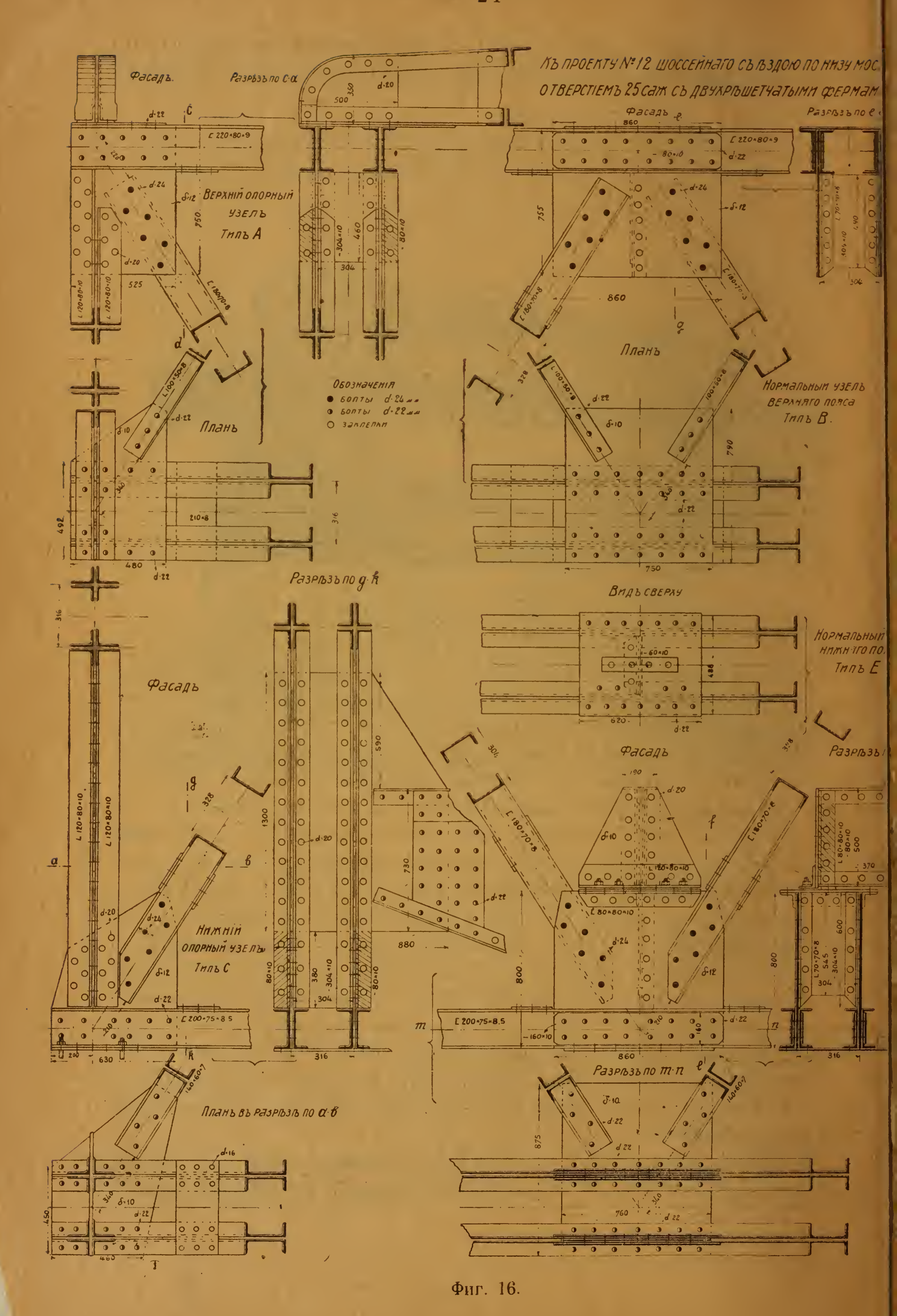
По этому проекту Кіевскимъ Округомъ Пут. Сообщ. въ 1916 г. построено семь пролетныхъ строеній съ общимъ вѣсомъ 51000 пудовъ. Заказъ исполненъ Брянскимъ заводомъ въ Екатеринославѣ и Новороссійскимъ заводомъ въ Юзовкѣ. Всѣ работы по прокаткѣ желѣза и по предварительной сборкѣ на заводахъ выполнены въ двухмѣсячный срокъ.

Фермы двухрѣшетчатой системы съ параллельными поясами (фиг. 16) имѣютъ слѣдующіе основные размѣры: разсчетный пролетъ—55 м. раздѣленъ

Фиг. 15.

на 12 панелей по 4,583 м.; высота фермъ—7,3 м.; разстояніе между осями фермъ—7 м.; ширина проѣзжей части между отбойными брусьями—2,5 саж. Каждая ферма составлена изъ 12 элементовъ верхняго и 12 элементовъ нижняго пояса, изъ 12 восходящихъ и 12 нисходящихъ раскосовъ и изъ 2-хъ опорныхъ стоекъ, а всего изъ 50 прямыхъ элементовъ. Элементы верхняго пояса длиною 4,583 м.для промежуточныхъ и 4,708 м. для крайнихъ панелей, составлены каждый изъ 4-хъ швеллеровъ № 22 Р. Н. С., связанныхъ между собою планками по верху и по низу, а также заклепками на шайбахъ, пропущенными черезъ стѣнки швеллеровъ. Элементы нижняго пояса длиною 4,583 м. для промежуточныхъ и 4,783 м. для крайнихъ панелей, составлены изъ 4-хъ швеллеровъ № 20 Р. Н. С., связанныхъ между собою планками по верху и по низу. Восходящіе и нисходящіе раскосы составлены каждый изъ 2-хъ швеллеровъ № 18 Р. Н. С., и сконструированы во всемъ согласно проекту за № 30. Всѣ 12 восходящихъ раскосовъ имѣютъ одинаковые размѣры и одинаковое расположеніе болтовъ и заклепокъ. Всѣ 12 нисходящихъ раскосовъ также заготовляются по одному шаблону. Опорныя стойки составлены каждая изъ 8-ми уголковъ 120.80.10 мм., образующихъ два креста.

Нижніе и верхніе узлы фермъ имѣютъ такое же устройство, какъ въ проектѣ за № 30, но съ той разницей, что каждый раскосъ


Къ проекту № 12 шоссейнаго съ ѣздою по низу мос.
отверстіемъ 25 саж съ двухрѣшетчатыми фермам
Фасадъ.
Разрѣзъ по С-а
Верхній опорный узелъ Типъ А
План
Обозначенія
болты d·24 мм
болты d·22 мм
заклепки
Нормальный узелъ верхняго пояса Типъ В.
Разрѣзъ по g-k
Видъ сверху
Нормальный нижн. пояс Типъ Е
Фасадъ
Нижній опорный узелъ Типъ С
План въ разрѣзъ по а-в
Разрѣзъ по m-n

Фиг. 16.

фермъ прикрѣпленъ къ узлу 12-ю болтами діам. 24 мм., а не однимъ болтомъ, какъ въ проектѣ № 30; это повлекло за собой увеличеніе высоты узловыхъ прокладокъ, а слѣдовательно, и строительной высоты моста. Общее число болтовъ, которые при сборкѣ надо поставить въ каждомъ промежуточномъ узлѣ верхняго или нижняго пояса, составляетъ 60 болтовъ діам. 20 мм. и 24 болта діам. 24 мм.

Связи между фермами (фиг. 13) устроены, какъ въ проектѣ за № 30, за исключеніемъ нѣсколько иныхъ профилей уголковъ и швеллеровъ.

Діаметры заклепокъ и болтовъ. Заклепки примѣнены діаметромъ 20, 16 и 12 мм., а болты—діаметромъ 24, 22, 16 и 12 мм.

Опорныя части спроектированы изъ литой стали, а катки изъ кованной стали. Подвижная опора составлена изъ 2-хъ балансировъ съ цилиндрическимъ шарниромъ, изъ 2-хъ катковъ и нижней плиты. Неподвижная опора составлена изъ 2-хъ балансировъ съ цилиндрическимъ шарниромъ.

Вѣсъ металла (желѣза, стали и чугуна).

	Всего.	На пог. мет. моста.
Обѣ фермы	64 039 кил.	1163 кил.
Связи между фермами	11 057 „	202 „
Поперечныя балки	12 161 „	222 „
Продольныя балки	16 387 „	298 „
Полотно проѣзжей части	8 804 „	160 „
Перила	3 256 „	59 „
Опорныя части	1 986 „	36 „
Чугунныя трубы	126 „	2 „
Всего	117 816 кил.	2142 к./п.м.

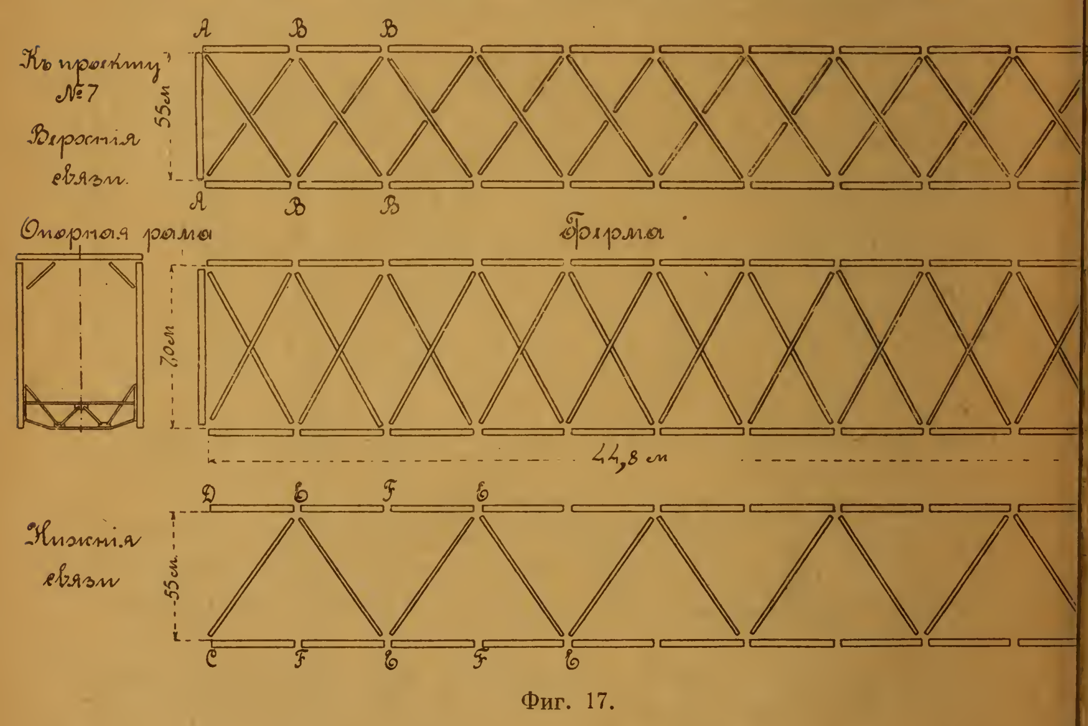
Наибольшій вѣсъ отдѣльныхъ частей. Поперечная балка—51 пуд.; продольная балка—17 пуд.; опорная стойка—58 пуд.; элементъ верхняго пояса—39 пуд.; элементъ нижняго пояса—34 пуд.

§ 13. Проектъ № 7 желѣзнодорожнаго съ ѣздою по низу моста отверстіемъ 20 саж.*) (фиг. 17). Пролетное строеніе состоитъ изъ двухъ фермъ двухрѣшетчатой системы и проѣзжей части изъ желѣзныхъ поперечныхъ и продольныхъ

---

*) Разсмотрѣвъ этотъ проектъ по докладу проф. Н. А. Бѣлелюбскаго, Инженерный Совѣтъ при Мин. Пут. Сообщ. 17 марта 1916 г. за № 23 постановилъ: „одобрить въ общемъ проектъ пролетнаго строенія разборнаго моста отверстіемъ въ 20 саж. съ ѣздою по низу, а также проектъ аванбека для накатки названнаго пролетнаго строенія, разработанные Мостовой Секціей Кіевскаго Обл. Военно-Промышл. Комитета подъ руководствомъ профессора Кіевскаго Политехническаго Института Е. О. Патона, отмѣтивъ вмѣстѣ съ тѣмъ, что упомянутый проектъ пролетнаго строенія, составленный въ отношеніи высоты и ширины проѣзда въ соотвѣтствіи съ требованіями габарита приближенія строеній, вмѣсто габарита очертанія подвижного состава, какъ это было разрѣшено Инженернымъ Совѣтомъ по журналу отъ 18 августа 1893 г. за № 121, въ силу принятой разработки деталей и подбора сѣченій требуетъ, противъ пролетнаго строенія того же отверстія по системѣ Эйфеля, го-

балокъ, поддерживающихъ настилъ изъ деревянныхъ подрельсовыхъ поперечинъ. Двухрѣшетчатыя фермы съ параллельными поясами, пролетомъ 44,8 м., разбираются исключительно на прямые элементы, причемъ каждая ферма— на 42 элемента. Высота и ширина пролетнаго строенія удовлетворяютъ размѣрамъ нормальнаго габарита предѣльнаго приближенія строеній къ желѣзнодорожнымъ путямъ широкой колеи. Высота фермъ въ 7 мет. назначена такъ, чтобы фермы можно было соединить между собою верхними продольными связями. Кромѣ общихъ для всѣхъ нашихъ проектовъ особенностей, указанныхъ въ началѣ IV главы, настоящій проектъ выдѣляется устройствомъ свободной проѣзжей части, примѣненнымъ и въ другихъ нашихъ желѣзнодорожныхъ мостахъ съ ѣздою по низу. Поперечныя балки спроектированы полусквозными; ихъ концы скошены снизу, имѣютъ сплошную стѣнку и свободно опираются на нижніе узлы фермъ. Продольныя балки устроены неразрѣзными, пропущены черезъ отверстія въ стѣнкѣ



Фиг. 17.

поперечныхъ балокъ и свободно опираются на ихъ нижнія узловыя прокладки. Свободнымъ опираніемъ балокъ достигается простота сборки, и независимость работы фермъ и проѣзжей части, а непрерывность продоль-

---

раздо меньше металла, при большихъ удобствахъ примѣненія его какъ въ военное, такъ и въ мирное время.

По этому проекту Управленіемъ Желѣзныхъ Дорогъ для надобностей казенныхъ желѣзныхъ дорогъ въ 1916 году заказано восемь пролетныхъ строеній.

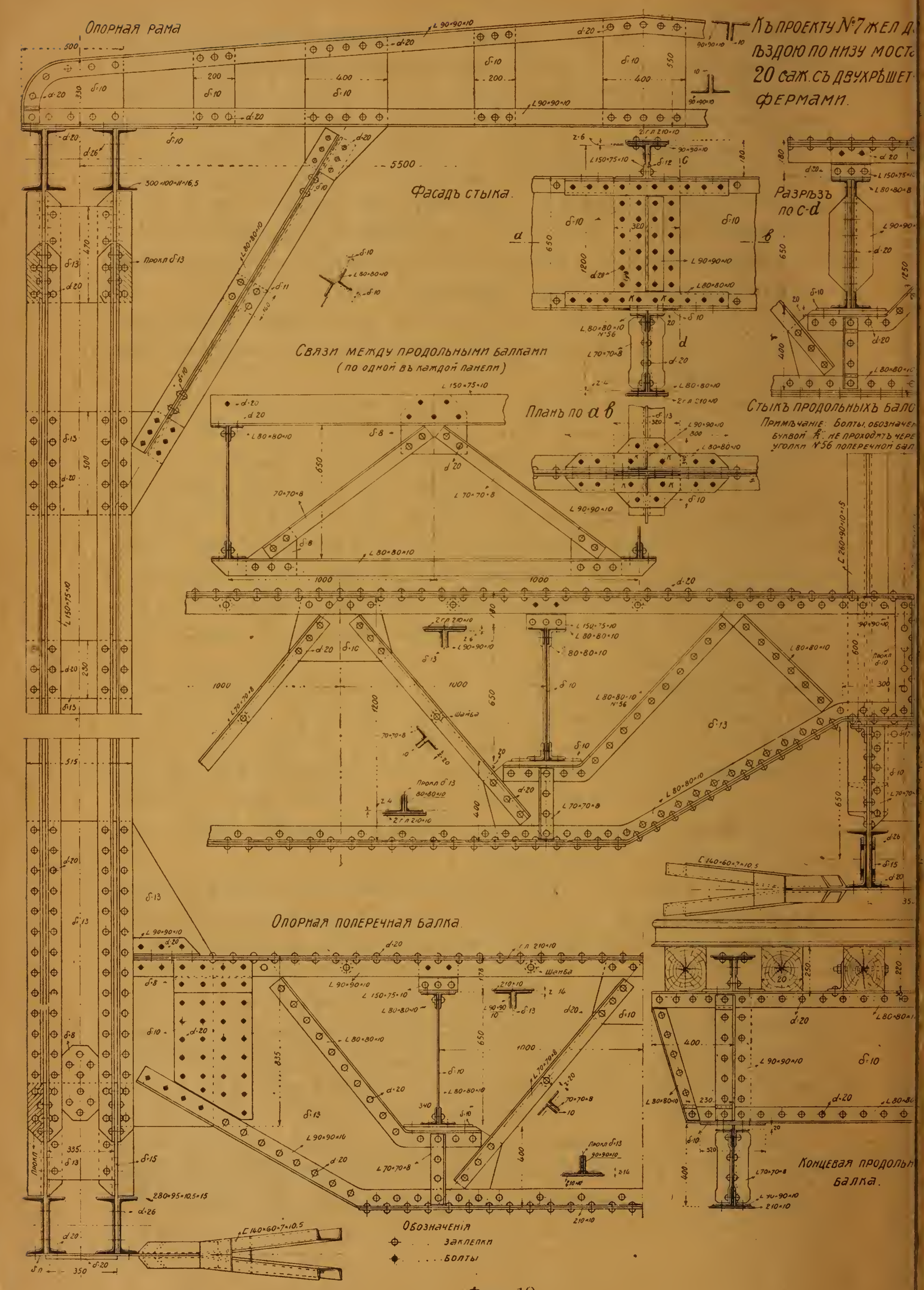
ныхъ балокъ способствуетъ болѣе равномѣрному распредѣленію сосредоточенной нагрузки между смежными поперечными балками. При устройствѣ продольныхъ балокъ неразрѣзными, стыкъ этихъ балокъ требуетъ большого количества болтовъ, что затрудняетъ сборку; поэтому въ проектахъ за № 44 и 47 мы перешли къ разрѣзнымъ продольнымъ балкамъ. Въ каждомъ узлѣ фермъ сходятся два звена пояса и два раскоса и каждый изъ этихъ элементовъ прикрѣпляется къ узлу отдѣльною группою болтовъ. Всѣ эти многочисленные болты должны быть поставлены при сборкѣ, что замедляетъ сборку; поэтому въ послѣдующихъ проектахъ мы постарались смягчить этотъ недостатокъ путемъ сокращенія числа болтовъ.

Разсчетная временная нагрузка. Мостъ разсчитанъ на нормальный поѣздъ, предписанный Мин. Пут. Сообщ. въ 1907 году согласно приказу отъ 14 февраля 1907 г. за № 19.

Допущенныя напряженія. Согласно постановленію Инженернаго Совѣта при Мин. Пут. Сообщ. отъ 17 марта 1916 года за № 23, для литого желѣза съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву не менѣе 37 к/мм.^{2} допущены повышенныя напряженія, а именно на 33% сравнительно съ напряженіями, предписанными Мин. Пут. Сообщ. для постоянныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ. Основное напряженіе для растянутыхъ частей фермъ принято $R = 1{,}33\ (750+2l) = 1117$ к/см.^{2} при дѣйствіи одной вертикальной нагрузки и $R' = 1{,}33\ (750+4l) = 1236$ к/см.^{2} при совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра. Остальныя напряженія приняты согласно указаннымъ въ § 5.

Описаніе конструкціи. 1) Мостовое полотно. (фиг. 18). Деревянныя подрельсовыя поперечины сѣченіемъ 20×25 см., уложенныя на двухъ продольныхъ балкахъ, отстоятъ ось отъ оси на 40 см. Каждая 4-ая поперечина прикрѣплена къ продольнымъ балкамъ при помощи горизонтальнаго уголка 150.75.10 мм. На случай схода колесъ, внутри колеи уложены охранные рельсы. Для прохода по мосту, устроенъ досчатый настилъ въ три дорожки, каждая изъ трехъ досокъ.

Продольныя балки (фиг. 18) составлены изъ сплошной стѣнки 650.10 мм. и 4-хъ уголковъ 80.80.10 мм. Балки спроектированы неразрѣзными, пропущены черезъ отверстія въ поперечныхъ балкахъ и опираются на кромку фасонныхъ листовъ этихъ балокъ, чѣмъ обезпечивается центральность передачи давленія. Къ верхнему поясу поперечныхъ балокъ продольныя балки прикрѣплены при помощи прокладки толщиною 12 мм., которая зажата между двумя короткими уголками и при сборкѣ задвигается въ щель между уголками поперечныхъ балокъ. Универсальные стыки продольныхъ балокъ расположены въ мѣстахъ пересѣченія съ поперечными балками. Стыкъ стѣнки перекрытъ парными накладками, пропущенными подъ поясные уголки, а стыкъ каждаго уголка перекрытъ отдѣльною уголковою накладкою. Для прикрѣпленія всѣхъ накладокъ для стыка одной


Къ проекту №7 жел. д. ѣздою по низу моста 20 саж. съ двухрѣшет. фермами.
Опорная рама
Фасадъ стыка.
Разрѣзъ по c-d
Связи между продольными балками
(по одной въ каждой панели)
Планъ по a b
Стыкъ продольныхъ бало
Примѣчание: Болты, обозначен. буквой К, не проходятъ чере уголки №56 поперечной бал.
Опорная поперечная балка.
Концевая продольн балка.
Обозначенія
заклепки
болты

Фиг. 18.

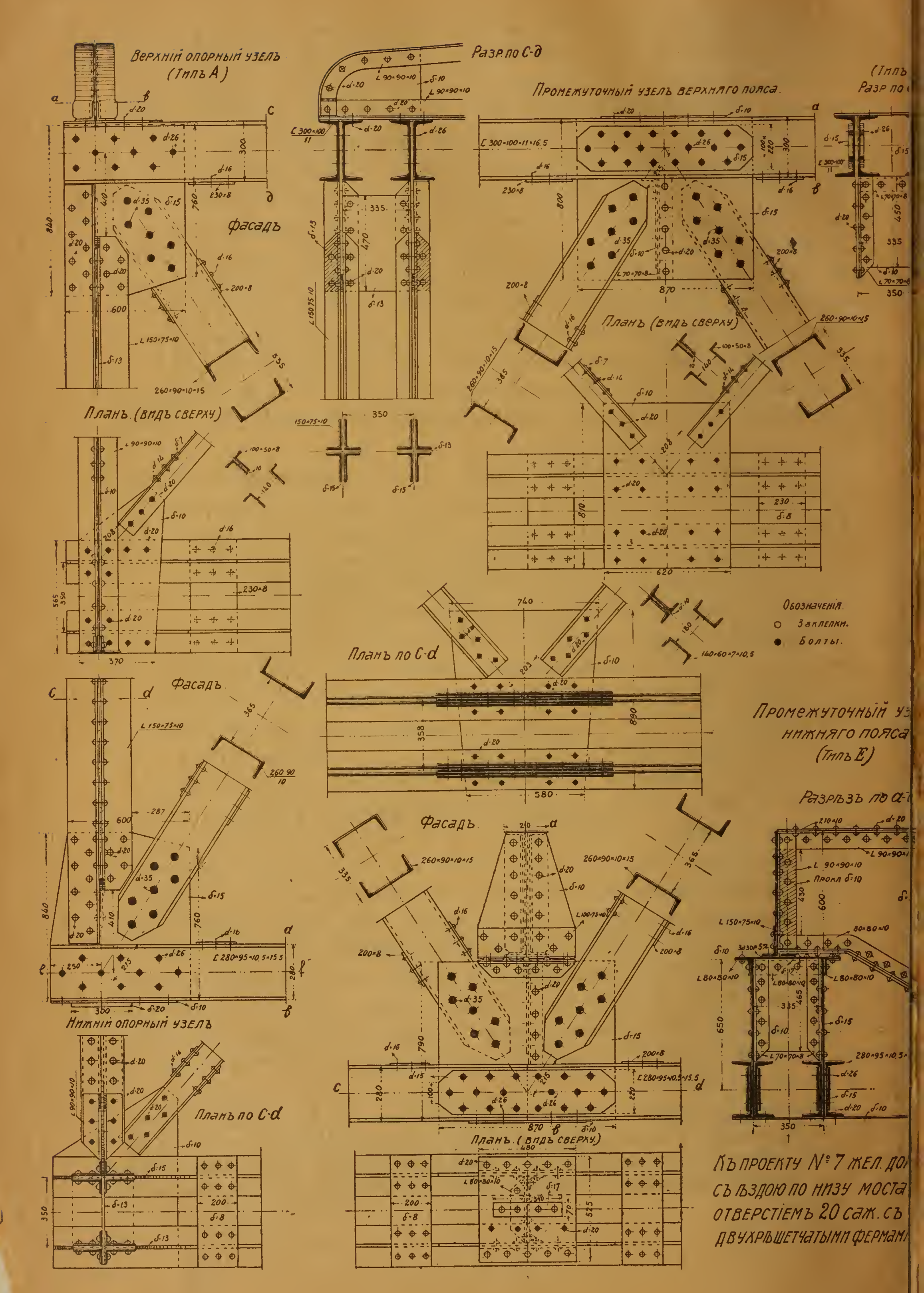
балки требуется 68 болтовъ діам. 20 мм.. Поперечныя связи между продольными балками устроены только по серединѣ каждой панели.

3) Поперечныя балки высотою 1,2 м. (фиг. 18) спроектированы со сквозною стѣнкою въ средней части, а по концамъ со сплошною стѣнкою толщиною 13 мм. Верхній поясъ балокъ составленъ изъ 2-хъ уголковъ 90.90.10 мм. и 2-хъ гор. листовъ 210.10 мм., а нижній поясъ—изъ 2-хъ уголковъ 80.80.10 мм. и 2-хъ гор. листовъ 210.10 мм.. Раскосы составлены изъ 2-хъ уголковъ 70.70.8 мм. Концы балокъ скошены снизу для увеличенія устойчивости и для уменьшенія строительной высоты. Промежуточныя балки свободно опираются на нижніе узлы фермъ при посредствѣ опорнаго бруска, обезпечивающаго центральную передачу давленія. Чтобы удержать балки отъ опрокидыванія, къ ихъ торцамъ приклепано по фасонной накладкѣ съ горизонтальнымъ уголкомъ, который приболчивается къ опорному листу. Опорныя поперечныя балки входятъ въ составъ опорныхъ рамъ и консольные листы этихъ балокъ зажаты между уголками опорныхъ стоекъ.

4) Фермы двухрѣшетчатой системы съ параллельными поясами (фиг. 19) имѣютъ слѣдующіе основные размѣры: разсчетный пролетъ—44,8 м. раздѣленъ на 10 панелей по 4,48 м.; высота фермъ — 7 м; разстояніе между осями фермъ — 5,5 м. Каждая ферма составлена изъ 10 элементовъ верхняго и 10 элементовъ нижняго пояса, изъ 10 восходящихъ и 10 нисходящихъ раскосовъ и изъ 2-хъ опорныхъ стоекъ, а всего изъ 42 прямыхъ элементовъ. Элементы верхняго пояса, длиною 4,48 м. для промежуточныхъ и 4,637 м.—для крайнихъ панелей, составлены каждый изъ 4-хъ швеллеровъ № 30 Р. Н. С., связанныхъ между собою планками по верху и по низу, а также заклепками на шайбахъ, пропущенными черезъ стѣнки швеллеровъ. Элементы нижняго пояса, длиною 4,48 м. для промежуточныхъ и 4,73 м.—для крайнихъ панелей, состоятъ изъ 4-хъ швеллеровъ № 28 Р. Н. С., связанныхъ между собою планками и заклепками. Восходящіе и нисходящіе раскосы составлены каждый изъ 2-хъ швеллеровъ № 26 Р. Н. С., причемъ въ нисходящихъ раскосахъ полки швеллеровъ обращены внутрь, а въ восходящихъ раскосахъ—наружу, такъ что нисходящіе раскосы проходятъ между швеллерами восходящихъ раскосовъ; въ мѣстахъ взаимнаго пересѣченія раскосы связаны между собою двумя болтами діам. 26 мм., по одному въ каждой стѣнкѣ. Вращая раскосы около этихъ 2-хъ болтовъ, можно вложить одинъ раскосъ въ другой и получить удобные для перевозки прямые элементы*). Всѣ восходящіе раскосы спроектированы одинаковыхъ размѣровъ и съ одинаковымъ распо-

---

*) Способъ складыванія перекрестныхъ раскосовъ страдаетъ тѣмъ недостаткомъ, что изъ планокъ, связывающихъ оба швеллера восходящихъ раскосовъ, можно приклепывать только одну половину, а вторую половину планокъ, подлежащую удаленію передъ складываніемъ раскосовъ, надо прикрѣплять болтами, что замедляетъ сборку.


Верхній опорный узелъ (Типъ А)
Разр. по С-д
Промежуточный узелъ верхняго пояса.
(Типъ
Разр. по
фасадъ
Планъ (видъ сверху)
Планъ. (видъ сверху)
Планъ по С-d
Обозначенія.
Заклепки.
Болты.
Фасадъ.
Промежуточный уз
нижняго пояса
(Типъ Е)
Разрѣзъ по а-
Фасадъ.
Нижній опорный узелъ
Планъ по С-d
Планъ. (видъ сверху)
Къ проекту № 7 жел. до
съ ѣздою по низу моста
отверстіемъ 20 саж. съ
двухрѣшетчатыми фермам

Фиг. 19.

ложеніемъ болтовъ и заклепокъ. Всѣ нисходящіе раскосы также изготовляются по одному шаблону. Опорныя стойки составлены каждая изъ 8-ми уголковъ 150.75.10 мм., расположенныхъ въ видѣ двухъ крестовъ.

Нижніе узлы фермъ образованы каждый изъ двухъ фасонныхъ прокладокъ толщиной 15 мм., къ которымъ приболчены два элемента нижняго пояса и два раскоса, а на узловыя прокладки опирается конецъ поперечной балки. Обѣ узловыя прокладки связаны между собою вертикальною діафрагмою. Швеллера нижняго пояса доведены до середины узла и ихъ стыки перекрыты обѣими узловыми прокладками, 4-мя вертикальными накладками толщиною 15 мм., помѣщенными внутри швеллеровъ и одною горизонтальною накладкою, которая приболчена къ швеллерамъ снизу и служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ для прикрѣпленія діагоналей нижнихъ связей Въ каждой половинѣ стыка поставлено 9 горизонтальныхъ четырехсрѣзныхъ болтовъ діам. 26 мм. и 8 вертикальныхъ односрѣзныхъ болтовъ діам. 20 мм. Каждый конецъ раскоса прикрѣпленъ къ узловымъ прокладкамъ 14-ю односрѣзными болтами діам. 35 мм. Конецъ поперечной балки опирается на брусокъ сѣченіемъ 70.17 мм., приклепанный къ горизонтальному листу. Этотъ листъ опирается на обѣ узловыя прокладки и на діафрагму между ними и къ этимъ тремъ вертикальнымъ листамъ прикрѣпленъ тремя горизонтальными уголками 80.80.10 мм. Сверху къ опорному листу приболченъ горизонтальный уголокъ 150.75.10 мм., приклепанный къ фасонной накладкѣ, которая прикрѣплена къ торцу поперечной балки и удерживаетъ ее отъ опрокидыванія. Общее число болтовъ, которые при сборкѣ надо поставить, составляетъ для каждаго промежуточнаго узла нижняго пояса 84 болта и—верхняго пояса 80 болтовъ.

Верхніе узлы фермъ сконструированы аналогично нижнимъ узламъ.

4) Связи между фермами. (фиг. 17 и 19). Фермы соединены между собою верхними и нижними продольными связями, а также опорными рамами. Верхнія связи двухрѣшетчатой системы состоятъ изъ 10 цѣльныхъ и 10 составныхъ діагоналей, каждая изъ двухъ половинъ, которыя въ мѣстѣ пересѣченія съ цѣльными діагоналями соединены между собою двумя короткими уголками. Діагонали рыбообразной формы составлены изъ двухъ уголковъ 100.50.8 мм. и болтами діам. 20 мм. прикрѣплены къ горизонтальнымъ накладкамъ въ узлахъ фермъ. Нижнія связи — треугольной системы, причемъ поперечныя балки служатъ дополнительными распорками. Діагонали рыбообразнаго вида составлены изъ двухъ швеллеровъ № 14 Р. Н. С. и болтами —діам. 20 мм. прикрѣплены къ горизонтальнымъ накладкамъ въ нижнихъ узлахъ фермъ. Опорныя рамы составлены изъ опорной поперечной балки, двухъ опорныхъ стоекъ и верхней распорки съ подкосами, закрѣпляющими верхніе узлы. Верхняя распорка составлена изъ 4-хъ уголковъ 90.90.10 мм., связанныхъ между собою вертикальными план-

ками. Для удобства сборки верхняя распорка положена на верхніе пояса фермъ и прикрѣплена къ нимъ болтами.

5) Діаметры заклепокъ и болтовъ. Заклепки примѣнены діаметромъ 20 и 16 мм., а болты—діаметромъ 35, 26, 20 и 16 мм..

6) Опорныя части спроектированы изъ литой стали, а катки — изъ кованной стали. Подвижная опора составлена изъ двухъ балансировъ съ шаровымъ шарниромъ, изъ трехъ катковъ и нижней плиты. Неподвижная опора составлена изъ двухъ балансировъ съ шаровымъ шарниромъ.

7) Вѣсъ металла (литого желѣза и стали).

	Всего.	На пог. мет. моста.
Обѣ фермы	81 407 кил.	1816 кил.
Связи между фермами	8 002 „	178 „
Поперечныя балки	13 813 „	308 „
Продольныя балки	12 403 „	277 „
Перила	2 326 „	52 „
Опорныя части	3 658 „	79 „
Всего	121 609 кил.	2710 к./п.м.

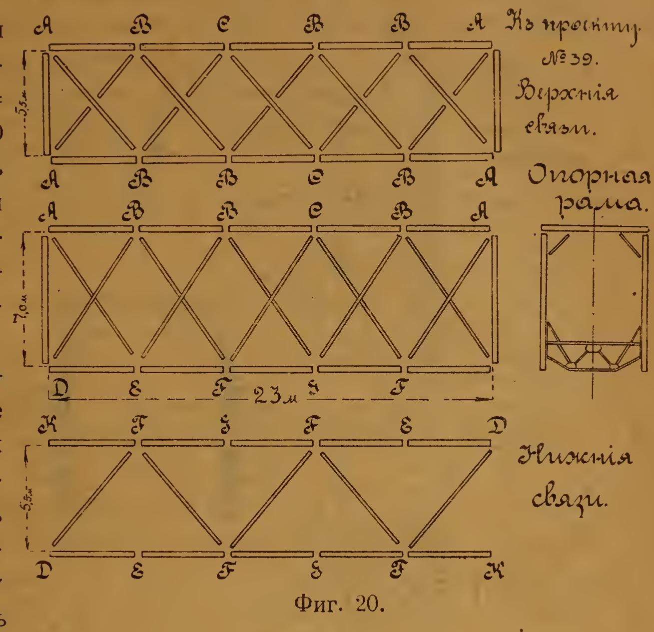
Наибольшій вѣсъ отдѣльныхъ частей. Поперечная балка 77 пуд.; продольная балка 38 пуд.; опорная стойка 63 пуд.; элементъ верхняго пояса 77 пуд.; элементъ нижняго пояса 70 пуд.

§ 14. Проектъ № 39 желѣзнодорожнаго съ ѣздою по низу моста отверстіемъ 10 саж. (фиг. 20). Пролетное строеніе состоитъ изъ двухъ фермъ двухрѣшетчатой системы и проѣзжей части изъ желѣзныхъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ, поддерживающихъ деревянныя подрельсовыя поперечины. Двухрѣшетчатыя фермы съ параллельными поясами пролетомъ 23 мет. разбираются исключительно на прямые элементы, причемъ каждая ферма — на 22 элемента. Высота и ширина пролетнаго строенія удовлетворяютъ размѣрамъ нормальнаго габарита предѣльнаго приближенія строеній къ желѣзнодорожнымъ путямъ широкой колеи. Мы не будемъ описывать особенностей настоящаго проекта, такъ какъ онъ составленъ по образцу предыдущаго проекта за № 7, отличаясь отъ него 1) болѣе слабыми сѣченіями всѣхъ элементовъ фермъ и 2) прикрѣпленіемъ раскосовъ фермъ къ узламъ при помощи только одного болта большого діаметра. Такимъ образомъ удалось замѣтно сократить число болтовъ.

Разсчетная временная нагрузка. Мостъ разсчитанъ на нормальный поѣздъ, предписанный Мин. Пут. Сообщ. въ 1907 году согласно приказу отъ 14 февраля 1907 г. за № 19.

Допущенныя напряженія. Согласно постановленію Инженернаго Совѣта при Мин. Пут. Сообщ. отъ 17 марта 1916 г. за № 23 для литого желѣза съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву не менѣе 37 к/мм.^{2} допущены повышенныя напряженія, а именно на 33%, сравнительно съ напряженіями, предписанными Мин. Пут. Сообщ. для постоянныхъ желѣ-

знодорожныхъ мостовъ. Основное напряженіе для растянутыхъ частей фермъ принято $R = 1{,}33\ (750 + 2.1) = 1059$ к/см.^{2} при дѣйствіи одной вертикальной нагрузки и $R' = 1{,}33\ (750 + 4.1) = 1120$ к/см.^{2} при совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра. Остальныя напряженія приняты согласно указаніямъ въ § 5.

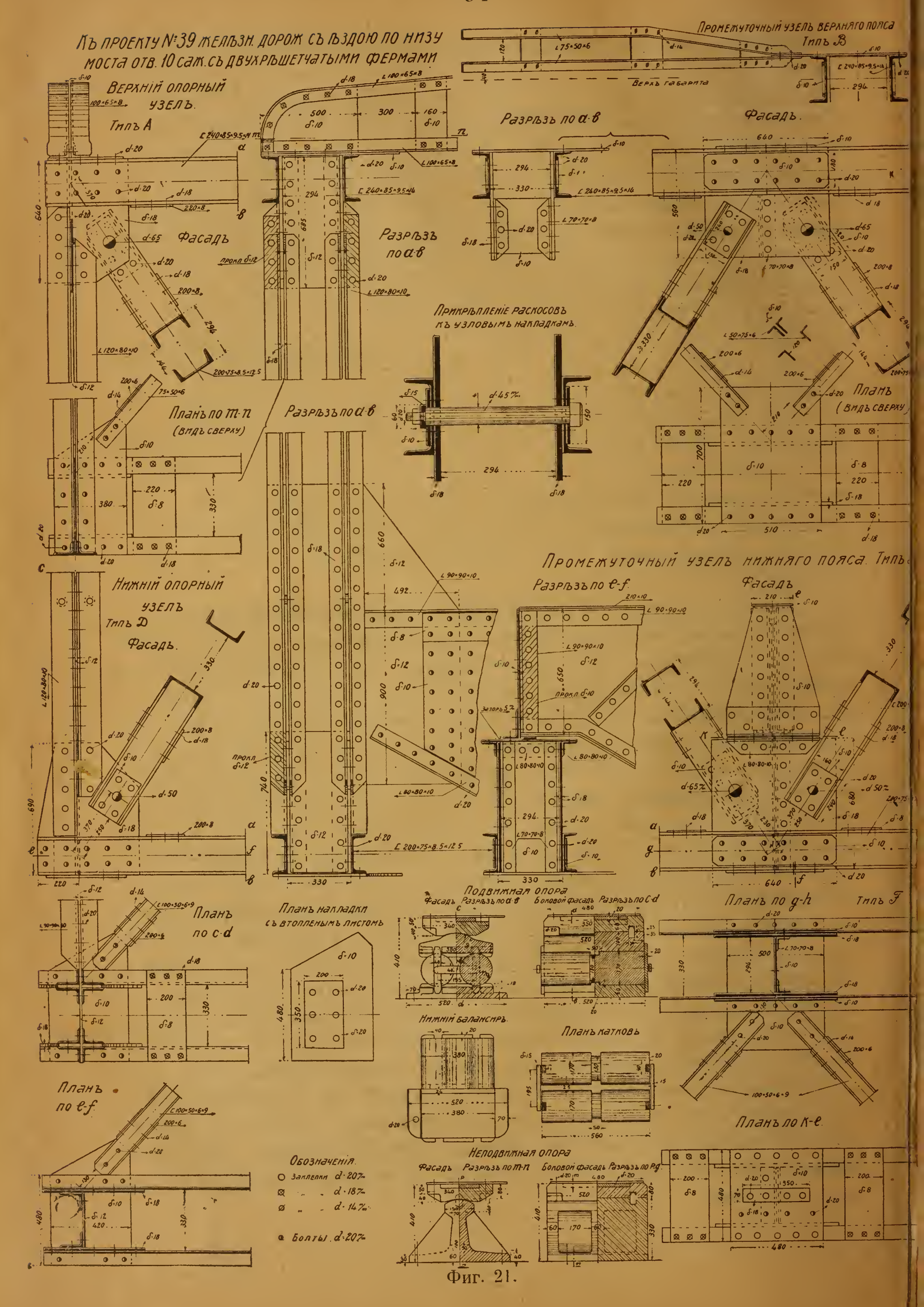


Фиг. 20.

Описаніе конструкціи. Мостовое полотно, продольныя и поперечныя балки почти не отличаются отъ тѣхъ-же частей въ проектѣ за № 7; поэтому ссылаемся на данное тамъ описаніе.

Фермы двухрѣшетчатой системы съ параллельными поясами (фиг. 21) имѣютъ слѣдующіе основные размѣры: разсчетный пролетъ — 23,0 м. раздѣленъ на 5 панелей по 4,6 м.; высота фермъ — 7 м.; разстояніе между осями фермъ — 5,5 м.. Каждая ферма составлена изъ 5 элементовъ верхняго и 5 элементовъ нижняго пояса, изъ 5 восходящихъ и 5 нисходящихъ раскосовъ и изъ двухъ опорныхъ стоекъ, а всего изъ 22 прямыхъ элементовъ. Элементы верхняго пояса, длиною 4,6 м. для промежуточныхъ и 4,73 м. — для крайнихъ панелей, составлены каждый изъ двухъ швеллеровъ № 24 Р. Н. С., которые по верху и по низу связаны между собою планками. Элементы нижняго пояса, длиною 4,6 м. для промежуточныхъ и 4,82 м. — для крайнихъ панелей, состоятъ каждый изъ двухъ швеллеровъ № 20 Р. Н. С., которые по верху и по низу связаны между собою планками.

Восходящіе и нисходящіе раскосы составлены каждый изъ двухъ швеллеровъ № 20 Р. Н. С., связанныхъ между собою планками, причемъ въ нисходящихъ раскосахъ горизонтальныя полки швеллеровъ, обращены внутрь, а въ восходящихъ раскосахъ — наружу, такъ что швеллера нисходящихъ раскосовъ проходятъ между швеллерами восходящихъ раскосовъ; въ мѣстѣ взаимнаго пересѣченія раскосы связаны между собою двумя болтами діам. 20 мм., по одному въ каждой стѣнкѣ. Вращая раскосы около этихъ двухъ болтовъ,, можно вложить одинъ раскосъ въ другой и получить удобные для перевозки прямые элементы. Опорныя стойки составлены каждая изъ 8-ми уголковъ 120.80.10 мм., расположенныхъ въ видѣ двухъ крестовъ.


Къ проекту № 39 желѣзн. дорож съ ѣздою по низу моста отв. 10 саж. съ двухрѣшетчатыми фермами
Верхній опорный узелъ. Типъ A
Фасадъ
Разрѣзъ по a-в
Планъ по m-n (видъ сверху)
Промежуточный узелъ верхняго пояса Типъ B
Верхъ габарита
Фасадъ
Прикрѣпленіе раскосовъ къ узловымъ накладкамъ.
Планъ (видъ сверху)
Нижній опорный узелъ Типъ D Фасадъ.
Промежуточный узелъ нижняго пояса. Типъ
Разрѣзъ по e-f
Фасадъ
Планъ по c-d
Планъ накладки съ втопленымъ листомъ
Подвижная опора
Фасадъ Разрѣзъ по a-в
Боковой фасадъ Разрѣзъ по C-d
Нижній балансиръ.
Планъ катковъ
Планъ по g-h
Типъ F
Планъ по K-e.
Планъ по e-f
Обозначенія.
Заклепки d-20%
d-18%
d-14%
Болты d-20%
Неподвижная опора
Фасадъ Разрѣзъ по m-n
Боковой фасадъ Разрѣзъ по P-q

Фиг. 21.

Нижніе и верхніе узлы фермъ имѣютъ такое-же устройство-какъ въ проектѣ за № 7, но съ той разницей, что каждый раскосъ при, крѣпленъ къ узлу только однимъ болтомъ діам. 50 мм. для восходящихъ и — 65 мм. для нисходящихъ раскосовъ. Во избѣжаніе смятія тонкой стѣнки швеллеровъ, образующихъ раскосы, къ каждой стѣнкѣ приклепано по накладкѣ толщиною 10 мм. Общее число болтовъ, которые при сборкѣ надо поставить въ каждомъ промежуточномъ узлѣ верхняго или нижняго пояса, составляетъ 34 болта діам. 20 мм. и еще по 2 большихъ болта для прикрѣпленія раскосовъ.

Связи между фермами (фиг. 20) устроены, какъ въ проектѣ за № 7, съ той разницей, что приняты меньшіе сорта уголковъ и швеллеровъ. Кромѣ того, чтобы не стѣснять высоты проѣзда, діагоналямъ верхнихъ связей придана несимметричная рыбообразная форма, при которой изогнутъ только верхній уголокъ, а нижній уголокъ оставленъ прямымъ.

Діаметры заклепокъ и болтовъ. Заклепки примѣнены діаметромъ 20, 18 и 14 мм., а болты — діаметромъ 65, 50, 20 и 16 мм.

Опорныя части спроектированы изъ литой, а катки изъ кованной стали. Подвижная опора составлена изъ двухъ балансировъ съ цилиндрическимъ шарниромъ, изъ двухъ катковъ и нижней плиты. Неподвижная опора составлена изъ двухъ балансировъ съ цилиндрическимъ шарниромъ.

Вѣсъ металла (желѣза и стали).

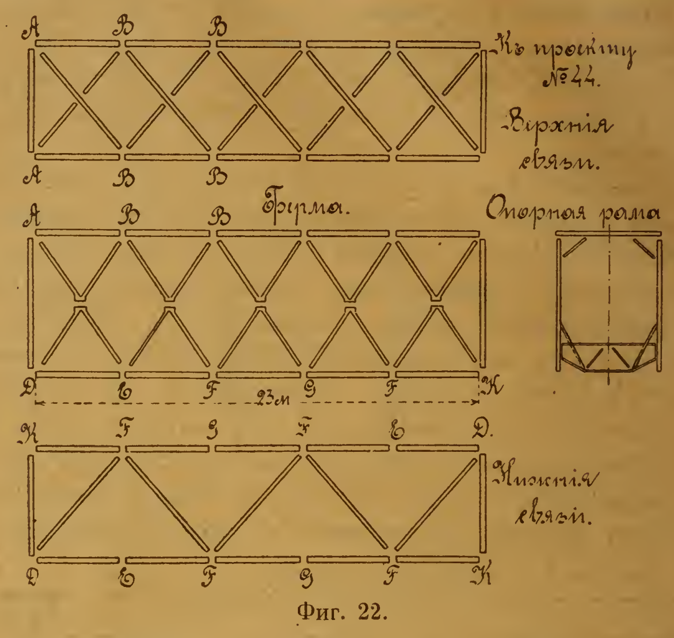
	Всего.	На пог. мет. моста
Обѣ фермы	24344 кил.	1059 кил.
Связи между фермами	3302 „	144 „
Поперечныя балки	7355 „	320 „
Продольныя балки.	6458 „	280 „
Перила.	1155 „	50 „
Опорныя части	1858 „	81 „
Всего. . .	44472 кил.	1934 к./п.м.

Наибольшій вѣсъ отдѣльныхъ частей. Поперечная балка — 75 пуд.; продольная балка — 40 пуд.; опорная стойка — 59 пуд.; элементъ верхняго пояса — 33 пуд.; элементъ нижняго пояса — 28 пуд..

Предшествующіе проекты за № 20, 30, 12, 7 и 39 составлены въ предположеніи, что фермы разбираются исключительно на прямые элементы. Это неудобно тѣмъ, что при сборкѣ приходится имѣть дѣло съ большимъ количествомъ отдѣльныхъ частей и ставить много болтовъ. Кромѣ того, при сборкѣ длинныхъ перекрещивающихся раскосовъ приходится просовывать одинъ раскосъ черезъ другой и концы раскосовъ надѣвать на накладки въ узлахъ фермъ. Все это замедляетъ сборку. Чтобы избѣжать этихъ неудобствъ, въ особенности чтобы уменьшить число сборочныхъ болтовъ, и избавиться отъ длинныхъ раскосовъ, мы рѣшили спроектировать фермы такъ, чтобы онѣ разбирались не на мелкіе прямые элементы, въ видѣ поясовъ, раскосовъ и стоекъ, а на крупныя треугольныя звенья, склепываемыя

на заводѣ и доставляемыя на мѣсто сборки въ готовомъ видѣ. Разсмотримъ четыре такихъ проекта за № 44, 47, 43 и 38.

§ 15. Проектъ № 44 желѣзнодорожнаго съ ѣздою по низу моста отверстіемъ 10 саж. (фиг. 22). Пролетное строеніе состоитъ изъ двухъ фермъ



Фиг. 22.

двухрѣшетчатой системы и проѣзжей части изъ желѣзныхъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ, поддерживающихъ деревянныя подрельсовыя поперечины. По системѣ, по размѣрамъ и по составу сѣченій, фермы, разработанныя въ настоящемъ проектѣ, не отличаются отъ фермъ, примѣненныхъ въ послѣднемъ проектѣ за № 39. Эти фермы страдаютъ тѣмъ неудобствомъ, что при сборкѣ приходится имѣть дѣло съ большимъ количествомъ отдѣльныхъ частей и требуется примѣненіе болтовъ большого діаметра. Кромѣ того, при сборкѣ длинныхъ перекрестныхъ раскосовъ приходится просовывать одинъ раскосъ черезъ другой и надѣвать ихъ концы на узловыя накладки. Чтобы избѣжать этихъ неудобствъ, въ настоящемъ проектѣ предлагается разбирать фермы не на мелкіе прямые элементы, въ видѣ поясовъ и раскосовъ, какъ въ проектѣ за № 39, а на треугольныя звенья, заранѣе склепанныя на заводѣ изъ одного элемента пояса и двухъ полураскосовъ, причемъ пять такихъ звеньевъ расположены вдоль верхняго и пять вдоль нижняго пояса, такъ что каждая ферма разбирается на 10 треугольниковъ и 2 опорныхъ стойки, а всего на 12 элементовъ, между тѣмъ какъ та-же ферма по проекту № 39 разбирается на 22 элемента. Для взаимнаго соединенія треугольниковъ въ узлахъ, по настоящему проекту требуется всего 50 болтовъ, считая на одну панель, а въ проектѣ № 39 требуется 72 болта. Въ узлахъ фермъ треугольныя звенья сопрягаются между собою

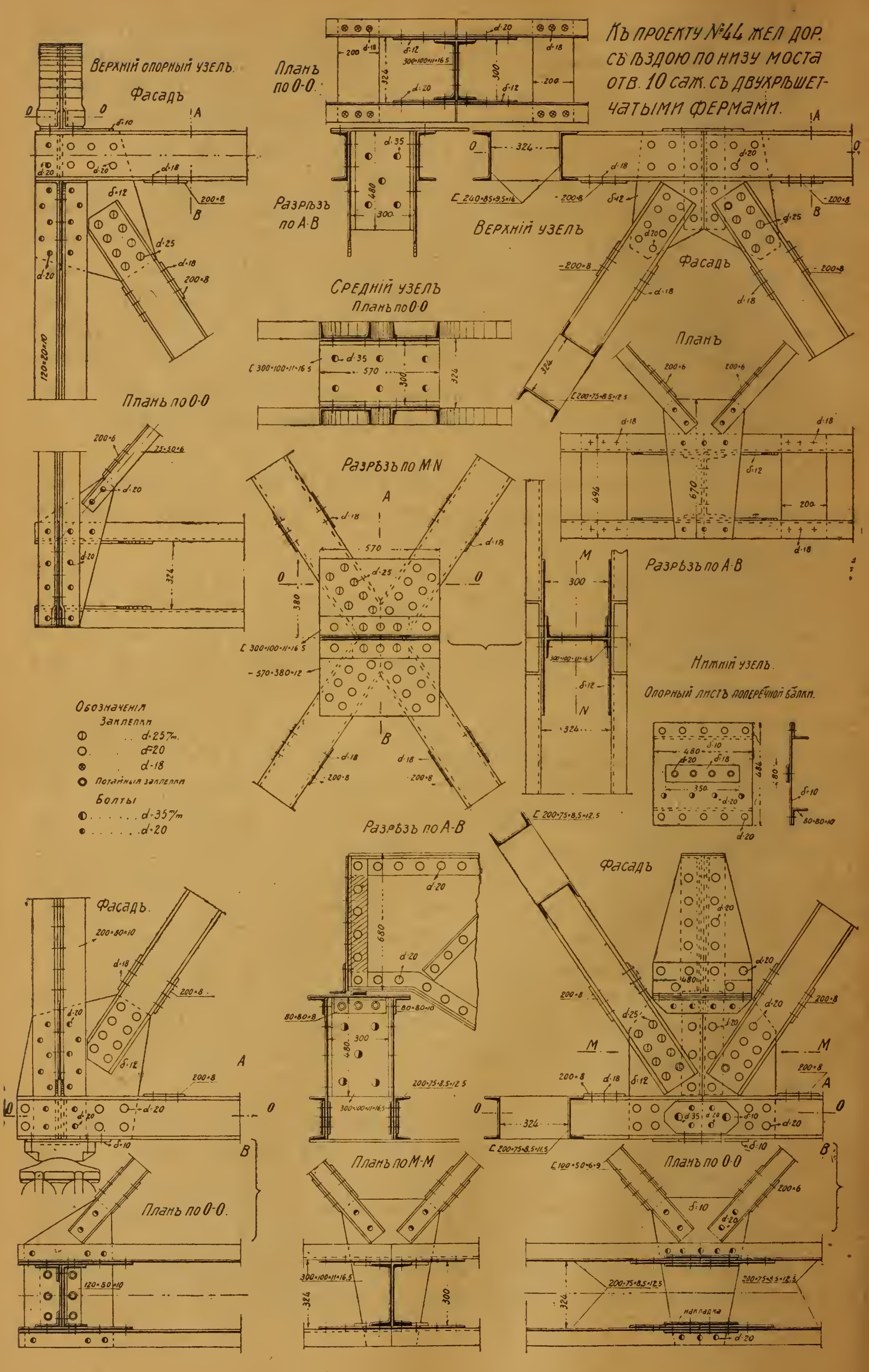
въ притыкъ при помощи діафрагмъ изъ швеллеровъ и стыковыхъ накладокъ, стягиваемыхъ болтами. Сборка треугольныхъ звеньевъ отличается крайнею простотою, такъ какъ она сводится къ простому наружному примыканію треугольниковъ одинъ къ другому. Треугольныя звенья склепываются на заводѣ и въ готовомъ видѣ доставляются на мѣсто сборки фермъ; поэтому размѣры звеньевъ назначены такъ, чтобы при погрузкѣ на желѣзнодорожныя платформы они не выступали за очертаніе габарита. Вѣсъ отдѣльныхъ звеньевъ не превышаетъ 67 пуд., благодаря чему сборка фермъ можетъ быть произведена простѣйшими подъемными механизмами. Какъ и въ проектѣ № 39, свободная проѣзжая часть составлена изъ полусквозныхъ поперечныхъ балокъ, опирающихся на нижніе узлы фермъ и изъ сплошныхъ продольныхъ балокъ, которыя пропущены черезъ отверстія въ стѣнкѣ поперечныхъ балокъ и свободно опираются на ихъ нижніе узлы. Для упрощенія сборки, продольныя балки спроектированы разрѣзными въ отличіе отъ проекта № 39, гдѣ эти балки неразрѣзныя.

Разсчетная временная нагрузка. Мостъ разсчитанъ на нормальный поѣздъ, предписанный Мин. Путей Сообщ. въ 1907 г., согласно приказу отъ 14 февраля 1907 г. за № 19.

Допущенныя напряженія тѣ-же, какъ въ проектѣ за № 39.

Описаніе конструкціи. (фиг. 23). Проѣзжая часть. Мостовое полотно и поперечныя балки почти не отличаются отъ тѣхъ же частей въ проектахъ № 7 и № 39, поэтому ссылаемся на описаніе, данное въ проектѣ № 7. Въ отличіе отъ проектовъ № 7 и 39, сплошныя продольныя балки, пропущенныя черезъ отверстія въ полусквозныхъ поперечныхъ балкахъ, спроектированы разрѣзными (фиг. 25). Концы продольныхъ балокъ заходятъ другъ за друга въ нахлестку, и стѣнки соединены между собой 8 болтами d = 20 мм. въ дырахъ діам. 25 мм., вслѣдствіе чего концы балокъ могутъ свободно поворачиваться при изгибѣ балокъ; три болта, расположенные по нейтральной оси, плотно заполняютъ дыры и служатъ для передачи продольныхъ силъ; балки опираются на край фасоннаго листа поперечной балки. Къ верхнему поясу поперечныхъ балокъ продольныя балки прикрѣплены при помощи прокладки толщиною 10 мм., которая зажата между двумя короткими уголками и при сборкѣ задвигается въ щель между уголками поперечныхъ балокъ. Поперечныя связи между продольными балками устроены только по серединѣ каждой панели.

Фермы двухрѣшетчатой системы съ параллельными поясами (фиг. 23) имѣютъ слѣдующіе основные размѣры: разсчетный пролетъ — 23,0 м. раздѣленъ на 5 панелей по 4,6 м.; высота фермъ — 7 м; разстояніе между осями фермъ — 5,5 м. Всѣ части фермъ, за исключеніемъ опорныхъ стоекъ, имѣютъ сѣченіе изъ двухъ швеллеровъ, обращенныхъ полками наружу и раздвинутыхъ на 324 мм. Каждая ферма составлена изъ 10 треугольныхъ звеньевъ и 2-хъ опорныхъ стоекъ, а всего изъ 12 элементовъ. Треугольныя звенья


Къ проекту №44 жел. дор. съ ѣздою по низу моста отв. 10 саж. съ двухрѣшетчатыми фермами.
Верхній опорный узелъ.
Фасадъ
Планъ по 0-0.
Разрѣзъ по А-В
Верхній узелъ
Средній узелъ
Планъ по 0-0
Планъ
Разрѣзъ по М-N
Разрѣзъ по А-В
Нижній узелъ.
Опорный листъ поперечной балки.
Обозначенія
Заклепки
d=25
d=20
d=18
Потайныя заклепки
Болты
d=35
d=20
Планъ по М-М

Фиг. 23.

дѣлятся на четыре сорта: верхнее опорное звено, верхнее промежуточное звено, нижнее опорное звено и нижнее промежуточное звено.

Верхнее промежуточное звено состоитъ изъ элемента верхняго пояса (два швеллера № 24) длиною 4,6 м. и двухъ полураскосовъ (два швеллера № 20), каждый длиною 3,9 м. Съ помощью фасонныхъ накладокъ ($\delta = 12$ мм.) эти части склепаны между собою въ углахъ треугольника, гдѣ между фасонными накладками зажаты діафрагмы изъ швеллера № 30. Вѣсъ верхняго промежуточнаго звена составляетъ 66 пудовъ. Нижнее промежуточное звено состоитъ изъ элемента нижняго пояса (два швеллера № 20), длиною 4,6 м. и двухъ полураскосовъ (два швеллера № 20) каждый длиною 3,9 м. Въ виду того, что на узлы нижняго пояса опираются поперечныя балки, фасонныя накладки въ нижнихъ углахъ треугольника выпущены вверхъ и покрыты опорнымъ листомъ, окаймленнымъ уголками. Во всѣхъ трехъ углахъ между накладками зажаты діафрагмы изъ швеллера № 30. Вѣсъ нижняго промежуточнаго звена составляетъ 62 пуда. Верхнее опорное звено по своему устройству мало отличается отъ промежуточнаго звена. Входящіе въ него швеллера № 24 верхняго пояса немного длиннѣе, чѣмъ въ промежуточныхъ звеньяхъ,— ихъ длина равна 4,73 м. Въ верхнемъ опорномъ узлѣ опущена діафрагма, такъ какъ роль ее выполняютъ уголки опорной стойки, запущенные внутрь пояса. Вѣсъ верхняго опорнаго звена составляетъ 66 пудовъ. Нижнее опорное звено. Швеллера № 20, образующіе элементъ нижняго пояса, имѣютъ длину 4,82 м. Діафрагма въ нижнемъ опорномъ узлѣ опущена; уголки стойки запущены внутрь пояса. Въ остальномъ конструкція нижняго опорнаго звена схожа съ конструкціей нижняго промежуточнаго звена. Опорная стойка состоитъ изъ 4 уголковъ 120.80.10. Въ нижнемъ концѣ стойки между уголками зажатъ консольный листъ, къ которому приболчена опорная поперечная балка. Вѣсъ опорной стойки около 64 пудовъ.

Нижніе узлы фермъ являются мѣстами взаимнаго сопряженія смежныхъ треугольныхъ звеньевъ. По всей высотѣ узла подведены другъ къ другу въ притыкъ обѣ фасонныя накладки, образующія нижніе углы треугольниковъ. Торцы обоихъ швеллеровъ нижняго пояса также подходятъ другъ къ другу въ притыкъ. Кромѣ того, соприкасаются между собою вплотную діафрагмы изъ швеллера, которыя вклепаны между угловыми накладками треугольниковъ. Эти діафрагмы стянуты между собою 5-ю горизонтальными болтами діам. 35 мм. Стыки обоихъ швеллеровъ нижняго пояса перекрыты 4-мя вертикальными накладками толщиною 10 мм. и одною горизонтальною накладкою, которая приболчена къ швеллерамъ снизу и служитъ одновременно для прикрѣпленія нижнихъ связей. Что касается раскосовъ фермъ, то еще на заводѣ они приклепаны къ угловымъ накладкамъ треугольниковъ. Чтобы образовать опорную площадку для поперечной балки, къ верхнему краю узловыхъ накладокъ приболчено снаружи два горизонтальныхъ уголка 80.80.10 мм., а къ діафрагмѣ изъ швеллера

приклепанъ поперечный уголокъ. На этихъ трехъ уголкахъ уложенъ опорный листъ.

Верхніе узлы фермъ сконструированы аналогично нижнимъ и вертикальныя діафрагмы изъ швеллера № 30 стянуты между собою 5-ю гориз. болтами діам. 35 мм. Въ виду того, что сжимающее усиліе верхняго пояса передается непосредственно черезъ соприкасающіяся между собою діафрагмы, а также торцы швеллеровъ и фасонныхъ накладокъ, можно обойтись безъ перекрытія стыка швеллеровъ пояса отдѣльными вертикальными накладками.

Узлы въ пересѣченіяхъ раскосовъ. Каждый раскосъ составленъ изъ двухъ швеллеровъ № 20 Н. Р С., обращенныхъ полками наружу. Вклепанныя между узловыми накладками горизонтальныя діафрагмы изъ швеллера № 30 стянуты между собою шестью вертикальными болтами діам. 35 мм.

Общее число болтовъ, которые при сборкѣ надо поставить въ трехъ узлахъ одной панели, т. е. въ верхнемъ и нижнемъ узлѣ, а также въ пересѣченіи раскосовъ, составляетъ 20 болтовъ діам. 35 мм. и 30 болтовъ діам. 20 мм., а всего 50 болтовъ.

Связи между фермами. (фиг. 22 и 23). Фермы соединены между собою верхними и нижними продольными связями, а также опорными рамами. Верхнія связи двухрѣшетчатой системы состоятъ изъ 5 цѣльныхъ и 5 составныхъ діагоналей, каждая изъ двухъ половинъ, которыя въ мѣстѣ пересѣченія съ цѣльными діагоналями соединены между собою двумя короткими уголками. Діагонали составлены изъ двухъ уголковъ 75.50.6 мм. Чтобы не стѣснять высоты проѣзда, діагоналямъ верхнихъ связей придана несимметричная рыбообразная форма, при которой изогнутъ только верхній уголокъ, а нижній уголокъ оставленъ прямымъ (см. проектъ № 39). Нижнія связи—треугольной системы, причемъ поперечныя балки служатъ дополнительными распорками. Діагонали рыбообразнаго вида составлены изъ двухъ швеллеровъ № 10 Р. Н. С. и болтами діам. 20 мм. прикрѣплены къ горизонт. накладкамъ въ нижнихъ узлахъ фермъ. Опорныя рамы составлены изъ опорной поперечной балки, двухъ опорныхъ стоекъ и верхней распорки съ двумя подкосами, закрѣпляющими верхніе углы. Верхняя распорка составлена изъ 4-хъ уголковъ 100.65.8 мм., связанныхъ между собою вертикальными планками. Для удобства сборки, верхняя распорка положена на верхніе пояса фермъ и прикрѣплена къ нимъ болтами.

Діаметры заклепокъ и болтовъ. Заклепки примѣнены слѣдующихъ діаметровъ: 25, 20, 18 и 14 мм., а болты—35, 20 и 16 мм.

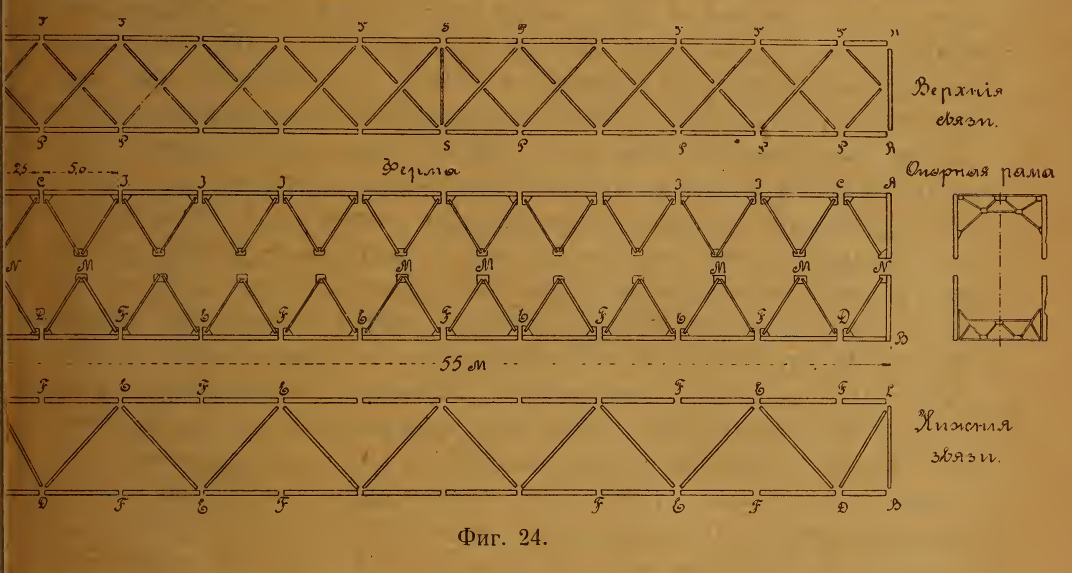
Опорныя части—тѣ же, какъ въ проектѣ № 39.

Наибольшій вѣсъ отдѣльныхъ частей. Поперечная балка—74 пуд.; продольная балка—37 пуд.; опорная стойка—61 пуд.; верхнее треугольное звено—66 пуд.; нижнее треугольное звено—62 пуд.

Вѣсъ металла (литого желѣза и стали).

	Всего.	На пог. мет. моста.
Обѣ фермы	25250 кил.	1098 кил.
Связи между фермами	3150 „	137 „
Поперечныя балки	7145 „	311 „
Продольныя балки	6060 „	264 „
Перила	1155 „	50 „
Опорныя части	1858 „	81 „
Всего...	44618 кил.	1941 к./п.м.

§ 16. Проектъ № 47 желѣзнодорожнаго съ ѣздою по низу моста отверстіемъ 25 саж. (фиг. 24) [1]. Пролетное строеніе состоитъ изъ двухъ фермъ ромбической системы и проѣзжей части изъ желѣзныхъ поперечныхъ и продольныхъ балокъ, поддерживающихъ деревянныя подрельсныя поперечины. Статически неопредѣлимую двухрѣшетчатую систему фермъ, примѣненную въ проектахъ за № 30, 12, 7, 39 и 44, мы рѣшили замѣнить ста



Фиг. 24.

тически опредѣлимою ромбическою системою, которая отъ двухрѣшетчатой системы отличается устройствомъ полураскосовъ въ первой и послѣдней панели и добавленіемъ горизонтальной стяжки въ средней панели. Предлагаемый проектъ разборныхъ фермъ ромбической системы по простотѣ конструкціи, по удобству и скорости сборки отвѣчаетъ основнымъ требованіямъ, предъявляемымъ къ раціональной разборной системѣ. Въ самомъ дѣлѣ. 1) Каждая ферма пролетомъ 55 метр. разбирается только на 24 тре-

[1]) Главнымъ Военно-Техническимъ Управленіемъ этотъ проектъ признанъ пригоднымъ для примѣненія въ арміи (журналъ № 969 Техническаго Комитета Главн. Воен. Техн. Упр. отъ 14 іюля 1916 г.).

угольныхъ звена и одинъ прямой элементъ, для взаимнаго соединенія которыхъ требуется 136 болтовъ, считая на каждую панель фермы; между тѣмъ какъ 55 мет. двухрѣшетчатая ферма по проекту № 12 разбирается на 50 элементовъ, для соединенія которыхъ требуется 168 болтовъ, считая на каждую панель фермы. Треугольныя звенья нашей ромбической фермы дѣлятся на 4 сорта, причемъ звенья каждаго сорта совершенно одинаковы по составу и размѣрамъ. Такое однообразіе звеньевъ достигнуто тѣмъ, что пояса фермъ имѣютъ на всемъ ихъ протяженіи одно и тоже сѣченіе, подобранное по наибольшему усилію въ средней панели; всѣ раскосы, кромѣ восходящаго полураскоса крайней панели, также имѣютъ одинаковое сѣченіе, подобранное по максимальному ихъ усилію. Въ виду полнаго равенства промежуточныхъ треугольныхъ звеньевъ, можно отбросить одно или нѣсколько изъ нихъ и такимъ образомъ укоротить ферму на одну или больше панелей, длиною по 5 метр. 2) Треугольныя звенья склепываются на заводѣ и въ готовомъ видѣ доставляются на мѣсто сборки моста; поэтому размѣры звеньевъ назначены такъ, чтобы при погрузкѣ на желѣзнодорожныя платформы они не выступали за очертаніе габарита. 3) Вѣсъ отдѣльныхъ треугольныхъ звеньевъ не превышаетъ 132 пуд., благодаря чему фермы могутъ быть собраны безъ сложныхъ подъемныхъ механизмовъ, при помощи простого объемлющаго крана. 4) Въ узлахъ фермъ треугольныя звенья сопрягаются между собою въ притыкъ при помощи діафрагмъ изъ швеллеровъ и стыковыхъ накладокъ, стягиваемыхъ болтами діам. 26 мм. Сборка треугольныхъ звеньевъ отличается крайней простотой, такъ какъ она сводится къ простому наружному примыканію треугольниковъ одинъ къ другому. 5) При составленіи проекта обращено особое вниманіе на возможное упрощеніе конструкціи; для этой цѣли приняты слѣдующія мѣры: a) Число разнородныхъ элементовъ доведено до минимума. b) При подборѣ сѣченій мы руководствовались тѣмъ, чтобы число примѣненныхъ сортовъ фасоннаго желѣза было какъ можно меньше, вслѣдствіе чего нѣкоторые элементы подобраны съ запасомъ. c) Почти всѣ элементы фермъ запроектированы изъ швеллернаго желѣза, благодаря чему уменьшено количество заклепочныхъ соединеній. 6) Проѣзжая часть свободно опирается на узловыя прокладки фермъ и составлена изъ полусквозныхъ поперечныхъ балокъ и сплошныхъ продольныхъ балокъ, которыя пропущены черезъ отверстія въ стѣнкѣ поперечныхъ балокъ. Для упрощенія сборки, продольныя балки спроектированы разрѣзными и свободно опирающимися.

Разсчетная временная нагрузка. Мостъ разсчитанъ на проходъ поѣзда, составленнаго изъ двухъ товарныхъ паровозовъ серіи Щ. и товарныхъ вагоновъ. Паровозъ имѣетъ три оси съ давленіемъ по 16 тон., одну ось съ давленіемъ въ 16,3 тон. и одну ось—въ 13 тон. Тендеръ имѣетъ 4 оси съ давленіемъ по 12,75 тон. Товарный вагонъ нормальнаго типа 1907 года имѣетъ 4 оси съ давленіемъ по 12 тон.

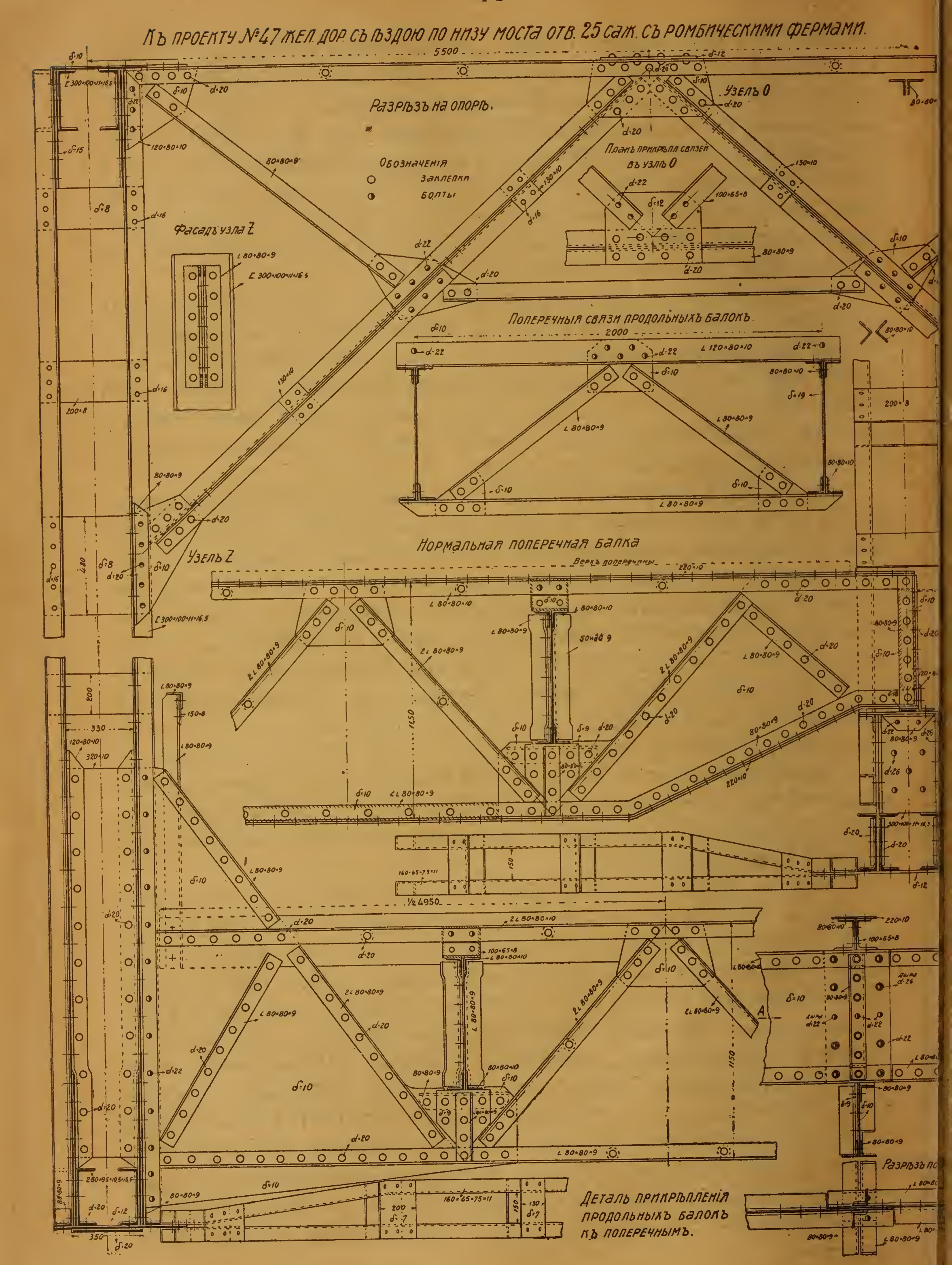
Допущенныя напряженія для литого желѣза. Согласно

постановленію Инженернаго Совѣта при Мин. Пут. Сообщ. отъ 17 марта 1916 г. за № 23, для литого желѣза съ временнымъ сопротивленіемъ не менѣе 37 к/мм.^{2} допущены повышенныя напряженія, а именно на 33$^0/_0$, сравнительно съ напряженіями, предписанными Мин. Пут. Сообщ. для постоянныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ. Основное напряженіе для растянутыхъ частей фермъ принято $R = 1{,}33\,(750 + 2 . l) = 1144$ к/см.^{2} при дѣйствіи одной вертикальной нагрузки и $R' = 1{,}33\,(750 + 4 . l) = 1290$ к/см.^{2} при совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра. Остальныя напряженія приняты согласно указаніямъ въ § 5.

Описаніе конструкціи. 1) Мостовое полотно. Деревянныя подрельсовыя поперечины сѣченіемъ 20.25 см. уложены на продольныхъ балкахъ на взаимномъ разстояніи въ 40 см. ось отъ оси. Каждая 5-я поперечина прикрѣплена къ продольнымъ балкамъ при помощи горизонтальнаго уголка 120.80.10 мм. На случай схода колесъ, внутри колеи уложены охранные рельсы. Для прохода по мосту, устроенъ досчатый настилъ въ три дорожки, каждая изъ трехъ досокъ.

2) Продольныя балки (фиг. 25) составлены изъ сплошной стѣнки 650.10 мм. и 4-хъ уголковъ 80.80.10 мм. Балки спроектированы разрѣзными и пропущены черезъ отверстія въ полусквозныхъ поперечныхъ балкахъ, опираясь на кромку фасонныхъ листовъ этихъ балокъ. Концы продольныхъ балокъ заходятъ другъ за друга въ нахлестку, и стѣнки соединены между собою 10-ю болтами діам. 22 мм. въ дырахъ діам. 26 мм., вслѣдствіе чего при изгибѣ балокъ ихъ концы могутъ свободно поворачиваться. Три болта, расположенные по нейтральной оси, плотно заполняютъ дыры діам. 22 мм. и служатъ для передачи продольныхъ силъ. Къ верхнему поясу поперечныхъ балокъ продольныя балки прикрѣплены при помощи прокладки толщиной 10 мм., которая зажата между двумя короткими уголками и при сборкѣ задвигается въ щель между уголками поперечныхъ балокъ. Поперечныя связи между продольными балками устроены только въ серединѣ каждой панели.

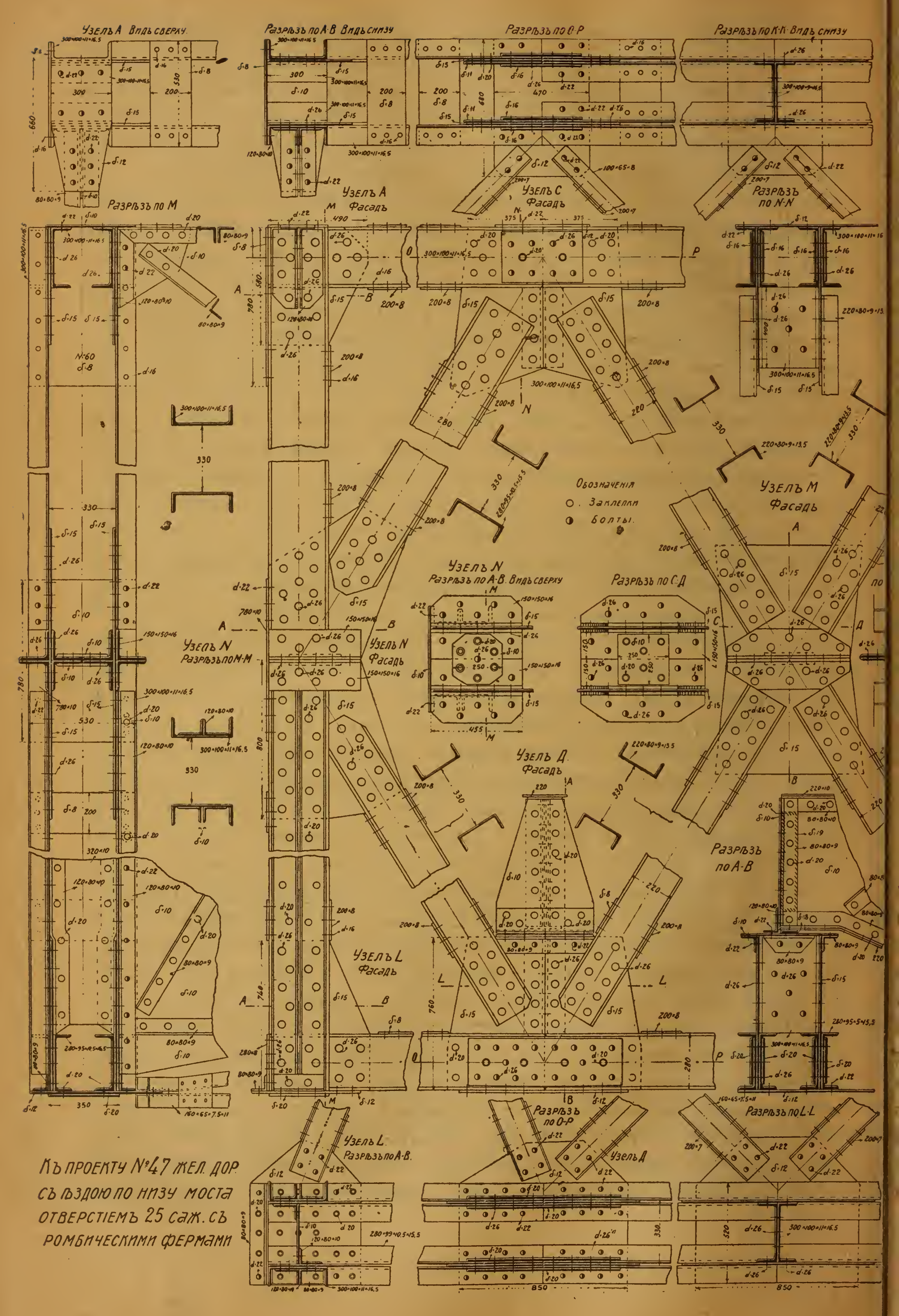
3) Поперечныя балки высотою 1,15 м. (фиг. 25) спроектированы со сквозною стѣнкою въ средней части, а по концамъ со сплошною стѣнкою толщиною 10 мм. Верхній поясъ балокъ составленъ изъ 2-хъ уголковъ 80.80.10 мм и гориз. листа 220.10 мм., а нижній поясъ—изъ 2-хъ уголковъ 80.80.9 мм. и гориз. листа 220.10 мм. Раскосы составлены изъ 2-хъ уголковъ 80.80.9 мм. Концы балокъ скошены снизу для увеличенія устойчивости и для уменьшенія строительной высоты. Промежуточныя балки свободно опираются на нижніе узлы фермъ при посредствѣ опорнаго бруска, обезпечивающаго центральную передачу давленія. Чтобы удержать балки отъ опрокидыванія, къ ихъ торцамъ приклепано по фасонной накладкѣ съ горизонтальнымъ уголкомъ, который приболчивается къ опорному листу. Опорныя поперечныя балки входятъ въ составъ опорныхъ рамъ, и консольные листы этихъ балокъ зажаты между уголками опорныхъ стоекъ.


Къ проекту №47 жел. дор. съ ѣздою по низу моста отв. 25 саж. съ ромбическими фермами.
Разрѣзъ на опорѣ.
Обозначенія
заклепки
болты
Фасадъ узла Z
Узелъ 0
Планъ прикрѣпл. связей въ узлѣ 0
Узелъ Z
Поперечныя связи продольныхъ балокъ.
Нормальная поперечная балка
Верхъ поперечины
Деталь прикрѣпленія продольныхъ балокъ къ поперечнымъ.
Разрѣзъ по

Фиг. 25.

4) Фермы ромбической системы съ параллельными поясами (фиг. 26) имѣютъ слѣдующіе основные размѣры: разсчетный пролетъ 55 м. раздѣленъ на 10 промежуточныхъ панелей по 5 м. и на 2 крайнихъ панели по 2,5 м.; высота фермъ—8,2 м., считая между осями поясовъ; разстояніе между осями фермъ—5,5 м. Каждая ферма разбирается на 24 треугольныхъ звена и на одну прямую стяжку. Треугольныя звенья дѣлятся на слѣдующіе 4 сорта: верхнія промежуточныя звенья (10 штукъ), нижнія промежуточныя (10 штукъ), верхнія опорныя (2 штуки) и нижнія опорныя звенья (2 штуки). Верхнее промежуточное звено составлено изъ элемента верхняго пояса (4 швеллера № 30) длиной 5 мет. и изъ двухъ полураскосовъ, состоящихъ каждый изъ 2-хъ швеллеровъ № 22. Въ углахъ треугольника швеллера склепаны между собой при помощи фасонныхъ прокладокъ толщиной 15 мм. Въ обоихъ верхнихъ углахъ между фасонными прокладками зажаты діафрагмы изъ швеллера № 30. Въ нижнемъ углѣ къ фасоннымъ прокладкамъ приклепано 4 горизонтальныхъ уголка 150.150.16, причемъ оба внутреннихъ уголка связаны между собой горизонтальною планкою на 6 заклепкахъ съ нижними потайными головками. Нижнее промежуточное звено составлено изъ элемента нижняго пояса (4 швеллера № 28) длиною 5 мет. и изъ двухъ полураскосовъ, состоящихъ каждый изъ двухъ швеллеровъ № 22. Въ углахъ треугольника швеллера склепаны между собой при помощи фасонныхъ прокладокъ толщиной 15 мм. Въ обоихъ нижнихъ углахъ между фасонными прокладками зажаты діафрагмы изъ швеллера № 30. Въ верхнемъ углѣ къ фасоннымъ прокладкамъ приклепано 4 горизонтальныхъ уголка 150.150.16, причемъ оба внутренніе уголка связаны между собой горизонтальною планкою на 6 заклепкахъ съ верхними потайными головками. Верхнее опорное звено составлено изъ крайняго элемента верхняго пояса (2 швеллера № 30) длиной 2,5 мет., изъ верхняго полураскоса (2 швеллера № 28) и изъ верхней половины опорной стойки (2 швеллера № 30). Во всѣхъ углахъ эти части склепаны при помощи фасонныхъ прокладокъ толщиной 15 мм. Въ нижнемъ углѣ къ фасоннымъ прокладкамъ приклепано 4 горизонт. уголка 150.150.16, причемъ оба внутреннихъ уголка связаны между собою горизонт. планкой. Нижнее опорное звено составлено изъ крайняго элемента нижняго пояса (4 швеллера № 28), изъ опорнаго полураскоса (2 швеллера № 22) и изъ опорной стойки (2 швеллера № 30 и 4 уголка 120.80.10). Эта стойка, какъ главная часть, доведена до опорнаго листа.

Нижніе узлы фермъ являются мѣстами взаимнаго сопряженія смежныхъ треугольныхъ звеньевъ. По всей высотѣ узла подведены другъ къ другу въ притыкъ обѣ фасонныя прокладки, образующія нижніе углы треугольниковъ; торцы всѣхъ 4-хъ швеллеровъ нижняго пояса также подходятъ другъ къ другу въ притыкъ. Кромѣ того, соприкасаются между собою вплотную діафрагмы изъ швеллера, которыя вклепаны между угловыми прокладками треугольниковъ. Эти діафрагмы стянуты между собою


Узелъ А Видъ сверху
Разрѣзъ по А-В Видъ снизу
Разрѣзъ по О-Р
Разрѣзъ по К-К Видъ снизу
Разрѣзъ по М
Узелъ А Фасадъ
Узелъ С Фасадъ
Разрѣзъ по N-N
Обозначенія
Заклепки
Болты.
Узелъ М Фасадъ
Узелъ N Разрѣзъ по А-В Видъ сверху
Разрѣзъ по С-Д
Узелъ N Разрѣзъ по М-М
Узелъ N Фасадъ
Узелъ Д. Фасадъ
Разрѣзъ по А-В
Узелъ L Фасадъ
Узелъ L. Разрѣзъ по А-В.
Разрѣзъ по О-Р
Узелъ Д
Разрѣзъ по L-L
Къ проекту №47 жел. дор. съ ѣздою по низу моста отверстіемъ 25 саж. съ ромбическими фермами

Фиг. 26.

5-ю горизонт. болтами діам. 26 мм. Стыки 4-хъ швеллеровъ пояса перекрыты 4-мя вертикальными накладками толщиною 20 мм., помѣщенными внутри швеллеровъ, и одною горизонтальною накладкою, которая приболчена къ швеллерамъ снизу и служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ для прикрѣпленія нижнихъ связей. Что касается раскосовъ фермъ, то еще на заводѣ они приклепаны къ угловымъ прокладкамъ треугольниковъ. Чтобы образовать опорную площадку для поперечной балки, къ верхнему краю фасонныхъ прокладокъ приболчено снаружи два горизонтальныхъ уголка 80.80.9, а къ діафрагмамъ изъ швеллеровъ № 30 прикрѣпленъ поперечный уголокъ. На этихъ трехъ уголкахъ уложенъ опорный листъ.

Верхніе узлы фермъ сконструированы аналогично нижнимъ; но стыки швеллеровъ верхняго пояса перекрыты слабѣе, чѣмъ въ нижнемъ поясѣ, въ виду того, что сжимающее усиліе верхняго пояса передается непосредственно черезъ соприкасающіеся между собою торцы швеллеровъ и фасонныхъ прокладокъ, а также черезъ діафрагмы.

Узлы въ пересѣченіяхъ раскосовъ, составленныхъ каждый изъ двухъ швеллеровъ, обращенныхъ полками наружу, устроены очень просто. Горизонтальные уголки, приклепанные къ фасоннымъ прокладкамъ, стянуты между собою вертикальными болтами діам. 26 мм., причемъ въ узлахъ надъ опорами помѣщено по 15, а въ остальныхъ узлахъ по 18 такихъ болтовъ. Общее число болтовъ, которые при сборкѣ надо поставить въ трехъ узлахъ одной панели, т. е. въ верхнемъ и нижнемъ узлѣ, а также въ пересѣченіи раскосовъ, составляетъ 80 болтовъ діам. 26 мм. и 56 болтовъ діам. 22 мм., а всего 136 болтовъ.

Горизонтальная стяжка, соединяющая обѣ точки пересѣченія раскосовъ, ближайшія къ серединѣ пролета фермъ, имѣетъ рыбообразную форму и составлена изъ 2-хъ швеллеровъ № 16. Въ каждомъ концѣ между швеллерами зажата узкая накладка, которая кладется на внутренніе горизонтальные уголки въ узлахъ и прикрѣпляется къ нимъ 4-мя болтами діам. 26 мм.

5) Связи между фермами. (фиг. 24 и 26). Фермы соединены между собой верхними и нижними продольными связями, а также опорными рамами. Верхнія связи—ромбической системы съ распоркою по серединѣ пролета составлены изъ 4-хъ концевыхъ полудіагоналей, изъ 10 цѣльныхъ и 10 составныхъ діагоналей, каждая изъ 2-хъ половинъ, которыя въ мѣстѣ пересѣченія съ цѣльными діагоналями соединены между собою двумя короткими уголками. Всѣ діагонали верхнихъ связей составлены изъ 2-хъ уголковъ 100.65.8 мм. и болтами діам. 22 мм. прикрѣплены къ накладкамъ въ узлахъ фермъ. Нижнія связи--треугольной системы, причемъ поперечныя балки служатъ дополнительными распорками. Рыбообразныя нижнія діагонали составлены изъ 2-хъ швеллеровъ № 16 и при помощи болтовъ діам. 22 мм. прикрѣплены къ узловымъ накладкамъ. Чтобы діагонали не опускались ниже нижняго пояса фермъ, только верхній швеллеръ

діагоналей изогнутъ вверхъ, а нижній швеллеръ—прямой. Опорныя рамы составлены каждая изъ опорной поперечной балки, двухъ опорныхъ стоекъ и верхняго заполненія, которое составлено изъ верхней распорки, двухъ основныхъ подкосовъ, затяжки и двухъ полураскосовъ. Для удобства сборки, предположено склепать въ одно цѣлое верхнюю распорку, верхнія половины обоихъ подкосовъ, затяжку и оба полураскоса. Нижнія половины обоихъ основныхъ подкосовъ доставляются отдѣльно и ставятся на мѣсто послѣ установки вышеуказанной распорки. Такимъ образомъ каждая опорная рама разбирается на три части.

6) Діаметры заклепокъ и болтовъ. Заклепки примѣнены слѣдующихъ діаметровъ: 26, 20 и 16 мм., а болты—26 и 22 мм.

7) Опорныя части спроектированы изъ литой стали, а катки—изъ кованной стали. Подвижная опора составлена изъ двухъ балансировъ съ шаровымъ шарниромъ, изъ трехъ катковъ и нижней плиты. Неподвижная опора составлена изъ 2-хъ балансировъ съ шаровымъ шарниромъ. Верхніе балансиры одинаковы въ подвижной и неподвижной опорѣ.

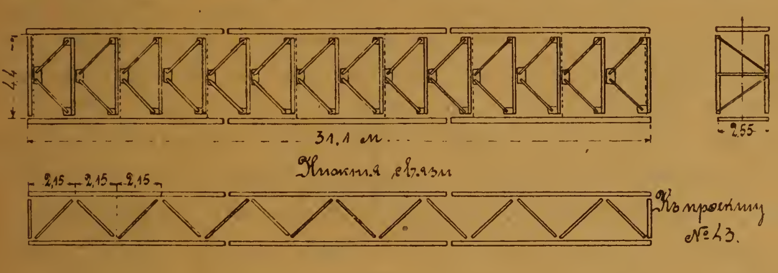
8) Сборка моста. Сборку предположено произвести при помощи деревяннаго объемлющаго крана—въ видѣ рамы, верхніе углы которой закрѣплены подкосами. Кранъ передвигается по рельсамъ, уложеннымъ снаружи фермъ, и внизу снабженъ площадками съ лебедками для подъема частей моста. Главные блоки подвѣшены къ крану непосредственно надъ осями фермъ; кромѣ того, имѣются вспомогательные блоки для подъема продольныхъ и поперечныхъ балокъ. Сборка моста съ помощью этого крана производится въ слѣдующемъ порядкѣ: 1) собираютъ всѣ нижнія треугольныя звенья обѣихъ фермъ, связывая ихъ между собой нижними связями; 2) укладываютъ поперечныя и затѣмъ продольныя балки; 3) собираютъ верхнія треугольныя звенья, устанавливая ихъ на вершины нижнихъ треугольныхъ звеньевъ и связывая ихъ между собою діагоналями верхнихъ связей.

Вѣсъ металла (литого желѣза и стали).

	Всего.	На пог. мет. моста.
Обѣ фермы	104 616 кил.	1900 кил.
Связи между фермами	8 234 „	150 „
Поперечныя балки	12 853 „	234 „
Продольныя балки	13 560 „	245 „
Перила	2 131 „	38 „
Опорныя части	3 517 „	64 „
Всего . .	144 911 кил.	2631 к./п.м.

Наибольшій вѣсъ отдѣльныхъ частей. Поперечная, балка—61 пуд.; продольная балка—38 пуд.; верхнее треугольное звено—132 пуд.; нижнее треугольное звено—126 пуд.

§ 17. Проектъ № 43 желѣзнодорожнаго съ ѣздою по верху моста отверстіемъ 13 саж. (фиг. 27). Пролетное строеніе состоитъ изъ двухъ фермъ полураскосной системы, на которыхъ уложены деревянныя поперечины, поддерживающія рельсовый путь. Полураскосныя фермы съ параллельными поясами пролетомъ 30,1 м. разбираются каждая на 14 треугольныхъ и на 7 прямыхъ звеньевъ, а всего на 21 элементъ. Каждое треугольное звено склепано изъ одной стойки и двухъ полураскосовъ; такъ какъ звенья доставляются на мѣсто сборки въ готовомъ видѣ, ихъ размѣры назначены такъ, чтобы при погрузкѣ на желѣзнодорожныя платформы они не выступали за очертаніе габарита. Каждый поясъ фермъ разбирается на три прямыхъ звена. Сопряженія звеньевъ между собою и съ поясами фермъ отличаются крайнею простотою, такъ какъ они сводятся къ простому наружному примыканію одной части къ другой; это очень упрощаетъ и ускоряетъ сборку, такъ какъ концы звеньевъ не приходится просовывать одинъ въ другой. Въ узлахъ звенья стягиваются между собою болтами, причемъ на каждый верхній или нижній узелъ требуется по 10 болтовъ діам. 22 мм.,



Фиг. 27.

а на каждый узелъ по серединѣ стоекъ только 6 болтовъ. Столь небольшое число болтовъ объясняется примѣненіемъ планокъ, служащихъ упоромъ для накладокъ въ углахъ треугольныхъ звеньевъ. Всѣ пояса, раскосы и стойки фермъ имѣютъ трубчатое сѣченіе изъ двухъ швеллеровъ, которые своими полками обращены наружу и связаны между собою планками. Фермы очень удобны для сборки, которая производится въ слѣдующемъ порядкѣ: сперва укладывается нижній поясъ; на немъ устанавливаются всѣ треугольники, и затѣмъ они покрываются верхнимъ поясомъ. Вѣсъ треугольнаго звена не превышаетъ 63 пудовъ, а звена поясовъ—98 пудовъ, благодаря чему фермы могутъ быть собраны безъ сложныхъ подъемныхъ механизмовъ.

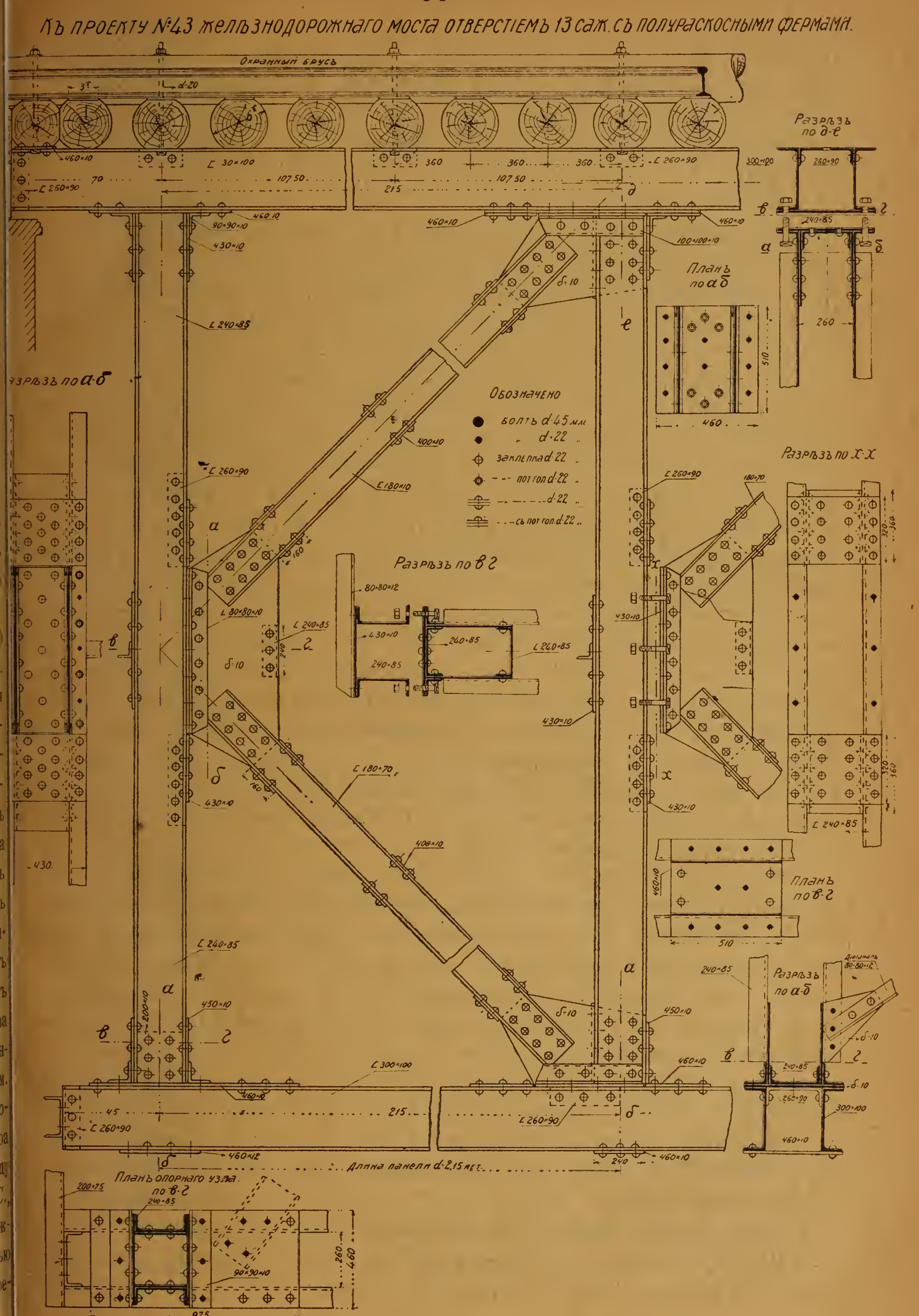
Разсчетная временная нагрузка. Мостъ разсчитанъ на нормальный поѣздъ 1896 г. съ давленіемъ на оси паровоза по 15 тон., предписанный циркуляромъ Мин. Пут. Сообщ. отъ 15 января 1896 г. за № 753. Допущенныя напряженія. Согласно постановленію Инженернаго Совѣта при Мин. Пут. Сообщ. отъ 17 марта 1916 г. за № 23, для литого желѣза съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву не менѣе 37 к/мм.^{2} допущены повышенныя напряженія, а именно на 33%, сравнительно съ напря-

женіями, предписанными Мин. Пут. Сообщ. для постоянныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ. Основное напряженіе для растянутыхъ частей фермъ принято $R = 1{,}33\,(750 + 2.l) = 1080$ к/см.[2] при дѣйствіи одной вертикальной нагрузки и $R' = 1{,}33\,(750 + 4.l) = 1160$ к/см.[2] при совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра. Остальныя напряженія приняты согласно указаніямъ въ § 5.

Описаніе конструкціи. I. Проѣзжая часть. Деревянныя подрельсовыя поперечины изъ 6-ти вершковаго круглаго лѣса, отесанныя на два канта, уложены непосредственно на верхній поясъ фермъ на взаимномъ разстояніи = 36 см. ось отъ оси. Поперечины приняты длиною 4,15 мет. Каждая третья поперечина закрѣплена къ верхнему поясу вертикальнымъ болтомъ діаметромъ 20 мм. На случай схода колесъ подвижного состава уложены наружныя охранныя бревна изъ круглаго 6-ти вершковаго лѣса, соединенныя съ поперечинами врубками и болтами. Разстояніе между головкой наружнаго рельса и краемъ охраннаго бруса равно 33 см. Для прохода желѣзнодорожныхъ агентовъ устроенъ верхній настилъ въ три дорожки, каждая изъ трехъ досокъ 25.5 см. Перила состоятъ изъ стоекъ углового желѣза 80.80.10 мм., прикрѣпленныхъ къ концамъ поперечинъ болтами, діаметромъ 20 мм. и изъ поручня того же сѣченія, прикрѣпленнаго къ стойкамъ болтами діаметромъ 22 мм.

II. Фермы полураскосной системы съ параллельными поясами (фиг. 28) имѣютъ слѣдующіе основные размѣры: разсчетный пролетъ—30,1 м. раздѣленъ на 14 панелей по 2,15 м.; высота фермы—4,4 м., считая между осями поясовъ; разстояніе между осями фермъ—2,55 м. Каждая ферма разбирается на 3 прямыхъ элемента верхняго и 3 элемента нижняго пояса, на одну опорную стойку и на 14 треугольныхъ звеньевъ, а всего на 21 элементъ. Верхній поясъ имѣетъ коробчатое сѣченіе изъ 2-хъ швеллеровъ № 30 Н. Р. С., которые на протяженіи среднихъ 5-ти панелей усилены горизонтальнымъ листомъ 460.10 мм. Поясъ имѣетъ на всемъ протяженіи два стыка. Каждый стыкъ перекрытъ 4-мя вертикальными и 2-мя горизонтальными накладками съ примѣненіемъ болтовъ діаметромъ 22 мм. и 45 мм. Нижній поясъ состоитъ изъ 2-хъ швеллеровъ № 30 Н. Р. С., которые на протяженіи двухъ среднихъ панелей усилены горизонтальнымъ листомъ 460.10. мм. Поясъ имѣетъ два стыка, которые перекрыты каждый 4-мя вертикальными и 2-мя горизонтальными накладками съ примѣненіемъ болтовъ діаметромъ 22 мм. и 45 мм. Полураскосы всѣ одного сѣченія изъ двухъ швеллеровъ № 18 Н. Р. С., подобранныхъ по наибольшей поперечной силѣ въ крайней панели. Швеллера полками обращены наружу и раздвинуты на 260 мм., считая въ свѣту между стѣнками. Стойки коробчатаго сѣченія изъ 2-хъ швеллеровъ № 24 Н. Р. С. подобранныхъ по наибольшей перерѣзывающей силѣ крайней панели. Каждая стойка и оба полураскоса, примыкающіе къ ея концамъ, съ помощью фасонныхъ накладокъ толщиною 10 мм. склепаны между собою въ тре-

Къ проекту №43 желъзнодорожнаго моста отверстiемъ 13 саж. съ полураскосными фермами.



Фиг. 28.

угольное звено. Опорная стойка, представляющая самостоятельное звено, имѣетъ трубчатое сѣченіе изъ двухъ швеллеровъ № 24 Н.-Р. С.; нижній конецъ стойки усиленъ наклепкою 4-хъ вертикальныхъ накладокъ, такъ какъ усиліе стойки передается черезъ торцы швеллеровъ и этихъ накладокъ.

Верхніе и нижніе узлы въ мѣстахъ сопряженія поясовъ съ треугольными звеньями. Въ этихъ узлахъ къ обѣимъ фасоннымъ накладкамъ приклепаны: снаружи два горизонт. уголка 100.100.10 мм., внутри—кусокъ швеллера № 24 и, кромѣ того, горизонт. подошва изъ листа сѣченіемъ 460.10 мм. Эта подошва ложится на оба швеллера пояса, а своими торцами она упирается въ двѣ горизонт. планки, сѣченіемъ 460.10 мм., которыя приклепаны къ швеллерамъ пояса справа и слѣва отъ узла и отлично сопротивляются сдвигу треугольнаго звена вдоль пояса. Изъ условій равновѣсія узла, сопрягающаго два элемента пояса, полураскосъ и стойку, слѣдуетъ, что равнодѣйствующая усилій полураскоса и стойки совпадаетъ съ равнодѣйствующею усилій въ обоихъ элементахъ пояса, а такъ какъ послѣдняя равна разности усилій въ этихъ поясахъ и направлена горизонтально, то равнодѣйствующая усилій полураскоса и стойки также горизонтальна. Отсюда слѣдуетъ, что верхній и нижній узелъ каждаго треугольнаго звена имѣютъ стремленіе сдвинуться вдоль поясовъ, но въ противоположномъ направленіи, а все звено—повернуться въ плоскости фермъ. Такому перемѣщенію наилучшимъ образомъ сопротивляются приклепанныя къ поясу упорныя планки, въ которыя упирается подошва треугольнаго звена. Кромѣ того, 10-ю вертикальными болтами діам. 22 мм. подошва стянута со швеллерами пояса и съ вклепанною между ними діафрагмою изъ куска швеллера № 26. Упорныя планки нужны только съ одной стороны узла; но, для лучшей связи между швеллерами, планки поставлены слѣва и справа отъ узла.

Узлы по серединѣ стоекъ, въ мѣстахъ сопряженія двухъ полураскосовъ со стойкою, сконструированы аналогично верхнимъ и нижнимъ узламъ. Къ обѣимъ фасоннымъ накладкамъ, связывающимъ между собою оба полураскоса, приклепаны: снаружи — два вертикальныхъ уголка 80.80.10 мм., внутри—кусокъ швеллера № 24 и, кромѣ того, подошва изъ листа сѣченіемъ 430.10 мм. Къ обоимъ швеллерамъ стойки эта подошва притянута 6-ю болтами діам. 22 мм., а сверху и снизу она торцами упирается въ двѣ планки, приклепанныя къ швеллерамъ стойки. Прикрѣпленіе упорныхъ планокъ къ стойкѣ усилено тѣмъ, что планки приклепаны еще къ діафрагмамъ изъ куска швеллера № 24, вклепаннымъ между швеллерами стойки. Такъ какъ сила, стремящаяся сдвинуть треугольное звено, т. е. равнодѣйствующая обоихъ полураскосовъ, направлена вертикально, то упорныя планки отлично сопротивляются такому перемѣщенію.

III. Связи между фермами. Фермы соединены между собой нижними продольными связями треугольной системы и поперечными связями,

какъ въ пролетѣ, такъ и надъ опорами. Каждая діагональ нижнихъ связей исполнена изъ одного швеллера № 20 Р. Н. С., который для простоты сборки уложенъ на упорныхъ планкахъ въ узлахъ нижняго пояса и прикрѣпленъ къ нимъ болтами діам. 22 мм. Для стока воды каждый швеллеръ снабженъ дырами. Поперечныя связи устроены черезъ каждыя двѣ панели фермъ и составлены изъ верхней, средней и нижней распорокъ и двухъ полудіагоналей.

IV. Опорныя части спроектированы изъ стали. Подвижная опора состоитъ изъ верхняго балансира, качающагося сектора и нижней подушки. Отъ продольнаго угона секторъ удерживается шипами, ввинченными въ нижнюю подушку. Для удержанія отъ поперечнаго сдвига верхній балансиръ снабженъ ребордами. Неподвижная опора составлена изъ верхняго и нижняго балансира съ цилиндрическимъ шарниромъ.

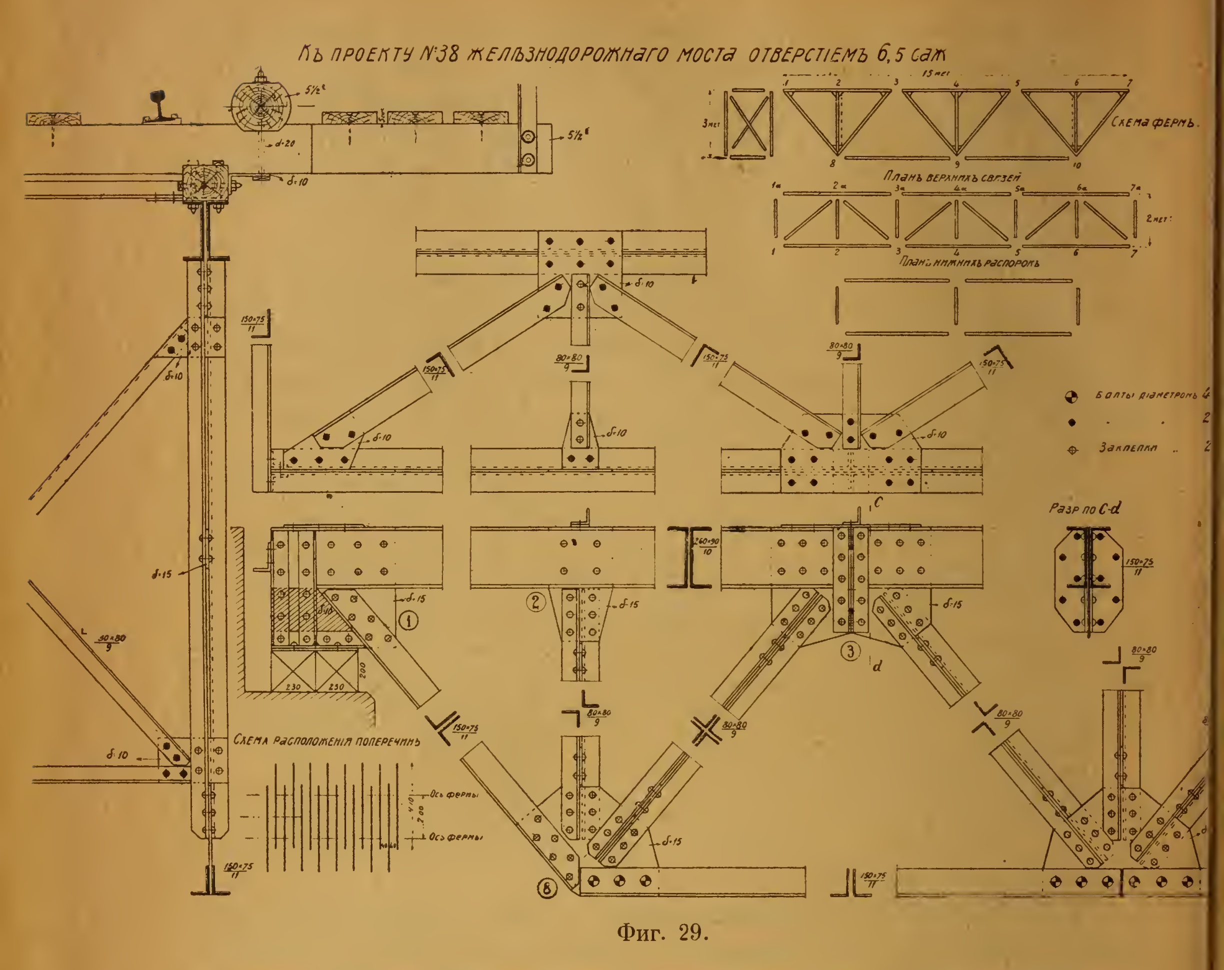
Діаметры заклепокъ и болтовъ. Всѣ заклепки исполнены діаметромъ 22 мм., а болты примѣнены діаметромъ 45, 22 и 20 мм.

Наибольшій вѣсъ отдѣльныхъ частей. Треугольное звено—63 пуд.; звено верхняго пояса—98 пуд.; звено нижняго пояса—90 пуд.

Вѣсъ металла (литого желѣза и стали).

	Всего.	На пог. мет. моста.
Обѣ фермы	46534 кил.	1550 кил.
Связи между фермами	2889 „	96 „
Проѣзжая часть	529 „	18 „
Перила	1586 „	53 „
Опорныя части	1755 „	58 „
Всего. . .	53293 кил.	1775 к./п.м.

§ 18 Проектъ № 38 желѣзнодорожнаго съ ѣздою по верху моста отверстіемъ $6^1/_2$ саж. (фиг. 29). Пролетное строеніе состоитъ изъ двухъ фермъ съ треугольною рѣшеткою, на которыхъ уложены деревянныя поперечины, поддерживающія рельсовый путь. Фермы съ параллельными поясами и треугольною рѣшеткою съ дополнительными стойками разбираются каждая на 3 треугольныхъ и 2 прямыхъ звена нижняго пояса, а всего на 5 элементовъ. Каждое треугольное звено склепано изъ элемента верхняго пояса, изъ двухъ раскосовъ и одной стойки; звенья доставляются на мѣсто постройки въ готовомъ видѣ; поэтому ихъ размѣры назначены такъ, чтобы при погрузкѣ на желѣзнодорожныя платформы они не выступали за очертаніе габарита. Сопряженіе треугольныхъ звеньевъ между собою отличается крайнею простотою, такъ какъ оно сводится къ простому наружному примыканію одного звена къ другому. Въ узлахъ звенья стягиваются между собою болтами, причемъ на каждый верхній узелъ требуется 18 болтовъ, діам. 22 мм., а на средній, нижній узелъ—6 болтовъ діам. 40 мм. Вѣсъ одного треугольнаго звена не превышаетъ 60 пудовъ, вслѣдствіе чего выгрузка и подъемка во время сборки производится простѣйшими подъемными механизмами.



Фиг. 29.

Разсчетная временная нагрузка. Мостъ разсчитанъ на нормальный поѣздъ 1896 г. съ давленіемъ на оси паровозовъ по 15 тон., предписанный циркуляромъ Мин. Пут. Сообщ. отъ 15 января 1896 г. за № 753.

Допущенныя напряженія. Согласно постановленію Инженернаго Совѣта при Мин. Путей Сообщ. отъ 17 марта 1916 г. за № 23 для литого желѣза съ временнымъ сопротивленіемъ разрыву не менѣе 37 к/мм.^{2} допущены повышенныя напряженія, а именно на 33%, сравнительно съ напряженіями, предписанными Мин. Пут. Сообщ. для постоянныхъ желѣзнодорожныхъ мостовъ. Основное напряженіе для растянутыхъ частей фермъ принято $R = 1{,}33\ (750 + 2.l) = 1040$ к/см.^{2} при дѣйствіи одной вертикальной нагрузки и $R' = 1{,}33\ (750 + 4.l) = 1080$ к/см.^{2} при совмѣстномъ дѣйствіи вертикальной нагрузки и вѣтра. Остальныя напряженія приняты согласно указаніямъ въ § 5.

Описаніе конструкціи. Проѣзжая часть. Сосновыя подрельсовыя поперечины изъ $5^1/_2$ верш. лѣса стесаны на два канта и положены на два продольныхъ бруса, уложенныхъ на верхнемъ поясѣ фермъ.

Поперечины имѣютъ длину 4,1 м. и уложены такъ, что каждая вторая поперечина свѣшивается за фермы для поддержанія перилъ и досчатаго настила. На случай схода колесъ поѣзда уложены наружныя охранныя бревна, соединенныя съ поперечинами врубками и болтами. Для прохода агентовъ устроенъ настилъ въ три дорожки, каждая изъ трехъ досокъ.

Фермы съ параллельными поясами и треугольною рѣшеткою съ дополнительными стойками (фиг. 29) имѣютъ слѣдующіе основные размѣры: разсчетный пролетъ — 15 м. раздѣленъ на 6 панелей по 2,5 м.; высота фермъ — 3 м.; разстояніе между осями фермъ — 2 м. Каждая ферма разбирается на три треугольныхъ и на два прямыхъ звена нижняго пояса, а всего на 5 элементовъ. Если удалить среднее треугольное звено, то получится ферма пролетомъ 10 м. Пояса имѣютъ на всемъ протяженіи одно и то же сѣченіе, подобранное по наибольшому усилію въ средней панели; верхній поясъ составленъ изъ двухъ швеллеровъ № 26 Р. Н. С., а нижній поясъ — изъ двухъ уголковъ 150.75.11 мм. Первый раскосъ составленъ изъ двухъ уголковъ 150.75.11 мм., второй раскосъ — изъ 4-хъ уголковъ 80.80.9 мм., а остальные раскосы и стойки — изъ двухъ уголковъ 80.80.9 мм., расположенныхъ крестомъ. Каждое треугольное звено составлено изъ элемента верхняго пояса, изъ двухъ раскосовъ и стойки; эти части склепаны между собою при посредствѣ фасонныхъ прокладокъ толщиною 15 мм. Крайніе треугольники нѣсколько отличаются отъ средняго.

Въ верхнихъ узлахъ треугольныя звенья сопрягаются между собою въ притыкъ; обѣ фасонныя прокладки толщиною 15 мм., образующія углы треугольныхъ звеньевъ, подведены въ притыкъ другъ къ другу. Каждая изъ этихъ прокладокъ снабжена парою вертикальныхъ уголковъ 150.75.11 мм., широкія полки которыхъ стянуты между собою десятью горизонт. болтами діам. 22 мм. Эти болты работаютъ только на срѣзываніе подъ дѣйствіемъ вертикальной поперечной силы. Въ виду того, что сжимающее усиліе верхняго пояса передается непосредственно черезъ торцы прокладокъ и черезъ вертикальные уголки, можно обойтись безъ перекрытія стыка швеллеровъ верхняго пояса особыми накладками. Къ верхнимъ полкамъ этихъ швеллеровъ 8-ю болтами діам. 22 мм. прикрѣплена горизонт. накладка для прикрѣпленія связей. Нижніе узлы очень просты, такъ какъ прямыя звенья нижняго пояса тремя болтами діам. 40 мм. прикрѣплены непосредственно къ фасонной прокладкѣ въ нижнемъ углѣ треугольниковъ.

Связи между фермами. Въ плоскости верхняго пояса, фермы соединены продольными связами треугольной системы съ распорками, а въ плоскости нижняго пояса, въ узлахъ, помѣщены только распорки. Поперечныя связи расположены въ плоскостяхъ стоекъ крайнихъ треугольниковъ и состоятъ изъ креста и двухъ распорокъ. Всѣ связи разбираются на прямыя части. Для того, чтобы не вводить новаго сорта желѣза, діагонали верхнихъ связей подобраны съ запасомъ изъ уголка 150 × 75 × 11; крайнія распорки верхнихъ связей подобраны тоже изъ уголка 150×75×11.

Всѣ остальные элементы верхнихъ, нижнихъ и поперечныхъ связей предположены изъ уголка 80 × 80 × 9 мм.

Опорныя части. Въ опорныхъ узлахъ выпущены наружу прокладки; къ нимъ приклепаны 2 горизонтальныхъ уголка 80 × 80 × 9, а къ послѣднимъ — горизонтальный опорный листъ, которымъ ферма опирается на 2 дубовыхъ мауерлата.

Вѣсъ металла (литого желѣза и стали).

	Всего.	На пог мет. моста.
Обѣ фермы	6227 кил.	415 кил.
Связи между фермами	805 „	54 „
Проѣзжая часть	128 „	9 „
Перила	671 „	45 „
Всего	7831 кил.	523 к./п.м.

Наибольшій вѣсъ треугольнаго звена 60 пуд.

§ 19. Вѣсъ и основные размѣры 9-ти мостовъ, описанныхъ въ §§ 10 до 18.

№ проекта.	Гдѣ ѣзда.	Разсчет. пролеть фермъ. М.	Число панелей.	Длина панели. М.	Количество на 1 ферму. всѣхъ основныхъ звеньевъ.	Количество на 1 ферму. болтовъ на одну панель.	Погонный вѣсъ металла въ кил. на пог. мет. моста. обѣихъ фермъ.	связей меж. фермами.	поперечн. балокъ.	продольн. балокъ.	перилъ.	опорныхъ частей.	Полный вѣсъ одного пролет. строен пуд.	Какой мостъ.
30	по низу.	33	7	4,71	30	72	628	195	213	298	63	52	3160	шоссейн.
12		55	12	4,58	50	168	1163	202	222	298	59	36	7193	
39	по низу.	23	5	4,6	22	72	1059	144	320	280	50	81	2715	желѣзнодорожный.
44		23	5	4,6	12	50	1098	137	311	264	50	81	2724	
7		44,8	10	4,48	42	164	1816	178	308	277	52	79	7424	
47		55	12	5	25	136	1900	150	234	245	38	64	8847	
38	по верху.	15	6	2,5	5	8	415	54	полотно. 9		45	—	478	
20		22,8	10	2,28	20	32	860	74	5		28	77	1448	
43		30,1	14	2,15	21	26	1550	96	18		53	58	3254	

§ 20. Резутьтаты испытанія семи пролетныхъ строеній, построенныхъ по

2. Весною 1916 г. Кіевскимъ Округомъ Путей Сообщ. построено семь разборныхъ пролетныхъ строеній отверстіемъ 25 саж. по проекту № 12. Передъ открытіемъ движенія эти стратегическіе мосты были испытаны, для чего вся проѣзжая часть была загружена сплошнымъ слоемъ песку такой толщины, чтобы нагрузка на каждый кв. метръ полотна составляла 625 кил. для фермъ № 1 до 4 и 500 кил. для остальныхъ мостовъ. Во время испытанія опредѣлены прогибы фермъ, приведенные въ слѣдующей таблицѣ.

	Прогибы и подъемы указаны въ миллиметрахъ.	Номера фермъ.							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	Стрѣлы подъема фермъ:								
1	при сборкѣ (строительный подъемъ). . a=	91	91	91	91	91	91	91	91
2	послѣ установки на опоры до испыт. b=	72	68	58	68	67	67	—	—
3	во время пробной нагрузки . . . . . . c=	11	6	—2	1	36	34	—	—
4	послѣ испытанія . . . . d=	53	43	29	36	48	48	53	—
5	**Временный или упругій прогибъ.** . . . . d-c=	42	37	31	35	12	14	41	16
	Остающійся прогибъ:								
6	отъ постоянной нагрузки . . . . . a—b=	19	23	33	23	24	24	—	—
7	отъ неточностей сборки . . . . b—d=	19	25	29	32	19	19	—	—
8	полный остающійся прогибъ. . . . a—d=	38	48	62	55	43	43	38	—

На основаніи этой таблицы можно сдѣлать слѣдующіе выводы:

1) Относительно временнаго прогиба. Какъ видно изъ 5-й строки таблицы, временный или упругій прогибъ фермъ отъ пробной нагрузки составлялъ отъ 12 до 42 мм., т. е. не превышалъ $^1/_{1310}$ l. Если сопоставить этотъ прогибъ съ нормою $^1/_{5000}$ l, которая Мин. Пут. Сообщ. установлена для временнаго прогиба клепанныхъ фермъ разсматриваемаго пролета, то оказывается, что фермы съ болтовыми соединеніями мало уступаютъ клепаннымъ фермамъ въ отношеніи временнаго прогиба.

2) Относительно остающагося прогиба. Какъ извѣстно, остающійся прогибъ фермъ слагается изъ двухъ частей: 1) изъ прогиба, вызваннаго постоянною нагрузкою (согласно 6-й строкѣ таблицы этотъ прогибъ составляетъ отъ 19 до 33 мм.), и 2) изъ того прогиба, который при пробной нагрузкѣ моста вызывается неточностями сборки и сдачею заклепочныхъ или болтовыхъ соединеній въ стыкахъ и узлахъ (согласно 7-й строкѣ таблицы этотъ прогибъ составляетъ отъ 19 до 32 мм.). Сумма этихъ двухъ прогибовъ даетъ полный остающійся прогибъ, который согласно 8-й строкѣ таблицы, составляетъ отъ 38 до 62 мм., т. е. доходитъ до $^1/_{890}$ l. Сопоставляя этотъ прогибъ съ нормою въ $^1/_{5000}$ l, которая Мин. Пут. Сообщ. установлена для остающагося прогиба клепанныхъ фермъ, мы видимъ, что фермы съ болтовыми соединеніями даютъ гораздо большій остающійся прогибъ, чѣмъ клепанныя фермы. Это объясняется тѣмъ, что въ клепанныхъ фермахъ, благодаря большому тренію между соединяемыми частями, стыки и узлы даютъ лишь ничтожныя перемѣщенія, чего нельзя сказать про болтовыя соединенія, гдѣ тренія почти нѣтъ, и плотность стыковъ и узловъ зависитъ отъ точности, съ которою стержни болтовъ заполняютъ свои отверстія. Поэтому вполнѣ естественно ожидать, что для фермъ съ болтовыми соединеніями будетъ гораздо больше та часть остающагося прогиба, которая происходитъ отъ сдачи стыковыхъ и узловыхъ соединеній. Отсюда заключаемъ, что при испытаніи фермъ съ болтовыми соединеніями слѣдуетъ допускать гораздо большій остающійся прогибъ, чѣмъ для клепанныхъ фермъ.

V глава. Сборка и накатка разборныхъ мостовъ.

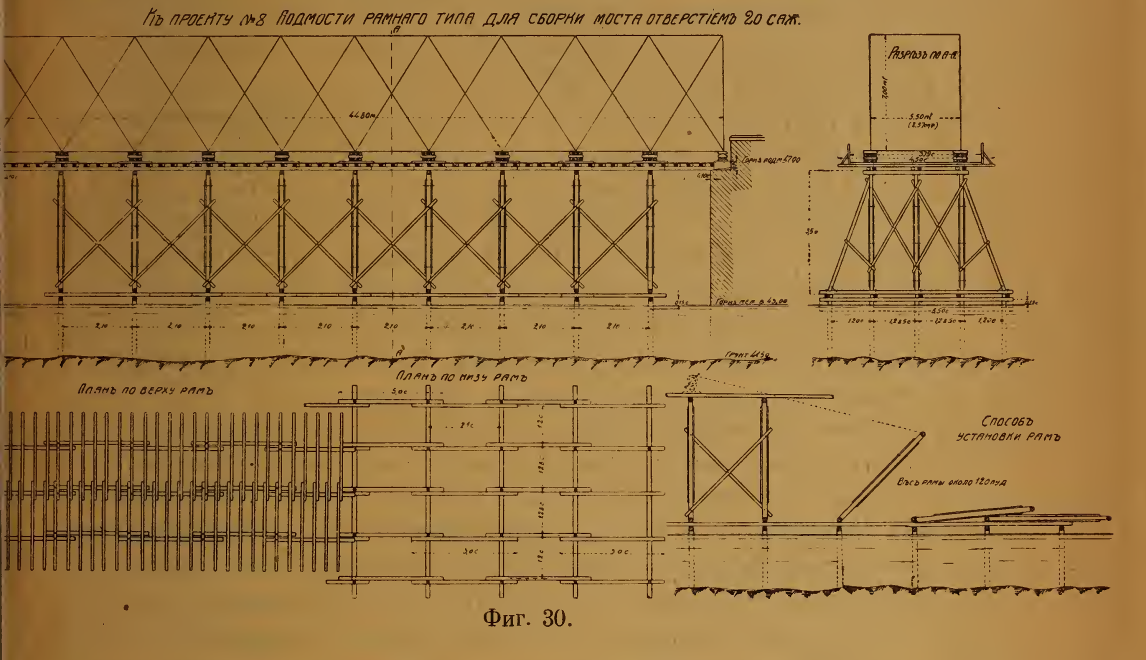
§ 21. Вѣдомость инструментовъ и подъемныхъ приспособленій для сборки одного моста отверстіемъ 25 саж. по проекту № 12.

	Колич.
1. Подъемныя приспособленія.	
Деревянный сборочный кранъ поворотной или копровой системы съ подъемной силой въ 150 пуд. при высотѣ подъема въ 8 мет.	1
Домкратовъ винтовыхъ силою до 20 тон.	2
Домкратовъ гидравлическихъ на 50 тон.	2
Домкратовъ распорочныхъ винтовыхъ	1
Талей въ 2 тон. и 3 тон.	2
Лебедокъ въ 2 тон.	2
2. Инструменты.	
Ключей гаечныхъ въ 7/8" 3/4" 5/8" 1/2"	40
Оправокъ стальныхъ	80
Сборочныхъ ломиковъ стальныхъ	10
Ломовъ желѣзныхъ	8
Бородковъ	2
Серегъ желѣзныхъ	5
Обжимокъ для ручной клепки 3/4" 5/8" 1/2"	3
Поддержекъ для клепки	1
Кувалдъ стальныхъ	10
Молотковъ клепальныхъ	2
Клейцмейстеровъ	1
Зубилъ котельныхъ	2
„ слесарныхъ	2
Клещей подавательныхъ	2
„ обжимочныхъ	2
Сверлъ американскихъ 24, 22 и 16 мм.	6
Трещетокъ	1
Скобъ трещеточныхъ	1
Горнъ переносныхъ	1
Наковаленъ	1
Тисковъ слесарныхъ	1
Клубикъ съ плашками 7/8", 3/4", 5/8" и 1/2"	1
Пилъ слесарныхъ, полукруглыхъ и прямоугольныхъ	6

§ 22 Способы сборки и накатки. Разборное пролетное строеніе можно собирать на подмостяхъ или на берегу; въ послѣднемъ случаѣ собранное строеніе накатывается на мѣсто, для чего пользуются временнымъ быкомъ или аванбекомъ. При сборкѣ на берегу съ послѣдующей накаткой можно сократить срокъ постройки моста, такъ какъ можно одновременно приступить къ сборкѣ желѣзнаго строенія и къ постройкѣ временнаго быка или же аванбека, между тѣмъ какъ въ случаѣ сборки на подмостяхъ можно приступить къ сборочнымъ работамъ только послѣ окончанія подмостей.

§ 23. Проектъ № 8 [1]) **подмостей рамнаго типа для сборки моста отверстіемъ 20 саж.** (фиг. 30)., разработаннаго въ проектѣ № 7. Отличительною чертою предлагаемыхъ подмостей является устройство всѣхъ опоръ въ видѣ

рамъ, которыя собираются въ горизонтальномъ положенiи и въ готовомъ видѣ поднимаются на мѣсто. При этомъ избѣгается необходимость наращиванiя свай, сокращается срокъ постройки и упрощается работа. Всѣ части подмостей спроектированы изъ бревенъ и пластинъ. Подмости состоятъ:



Фиг. 30.

1) изъ свайнаго основанiя, 2) изъ продольныхъ лежней, уложенныхъ на насадкахъ свайнаго основанiя, 3) изъ вертикальныхъ рамъ, служащихъ опорами подмостей, 4) изъ прогоновъ, поддерживаемыхъ рамами, 5) изъ поперечинъ, уложенныхъ на прогонахъ, 6) изъ продольнаго досчатаго настила и 7) изъ перилъ.

Свайное основанiе состоитъ изъ 9 поперечныхъ рядовъ свай, по 5 свай въ каждомъ ряду; разстоянiе между поперечными рядами=2,1 саж.=длинѣ панели фермъ. Дiаметръ свай 5 верш. На головы свай при помощи шипа $1^1/_2$.2 верш. нарублены насадки изъ 5 верш. сосновыхъ бревенъ длиною 5,5 саж. Надъ каждой сваей на насадкахъ уложены вдоль моста лежни изъ 5 верш. бревенъ длиною 3 саж.

Рамы. Каждая вертикальная рама, служащая опорою подмостей, состоитъ изъ трехъ стоекъ (изъ 5 верш. бревенъ длиною 3,3 саж.), изъ двухъ укосинъ (5 верш. бревна длиною 3,5 саж.), изъ верхней насадки ($5^1/_2$ верш. бревно длиною 3 саж.) и изъ нижней обвязки ($5^1/_2$ верш. бревно длиною 5,5 саж.). Стойки связаны между собою двумя крестами изъ пластинъ

---

[1]) Главнымъ Военно-Техническимъ Управленiемъ этотъ проектъ рекомендованъ для примѣненiя на театрѣ военныхъ дѣйствiй (журналъ № 396 Техническаго Комитета Главн. Воен.-Техн. Управ. отъ 21 марта 1916 г-).

2.4 верш.). Укосины связаны съ крайними стойками двумя пластинами (2.4 верш.). Въ случаѣ постройки подмостей надъ сухимъ оврагомъ, можно обойтись безъ устройства свайнаго основанія, устанавливая каждую раму на 7 подкладкахъ длиною 0,5 саж. изъ пластинъ сѣченіемъ 6.3 верш., уложенныхъ непосредственно на грунтъ.

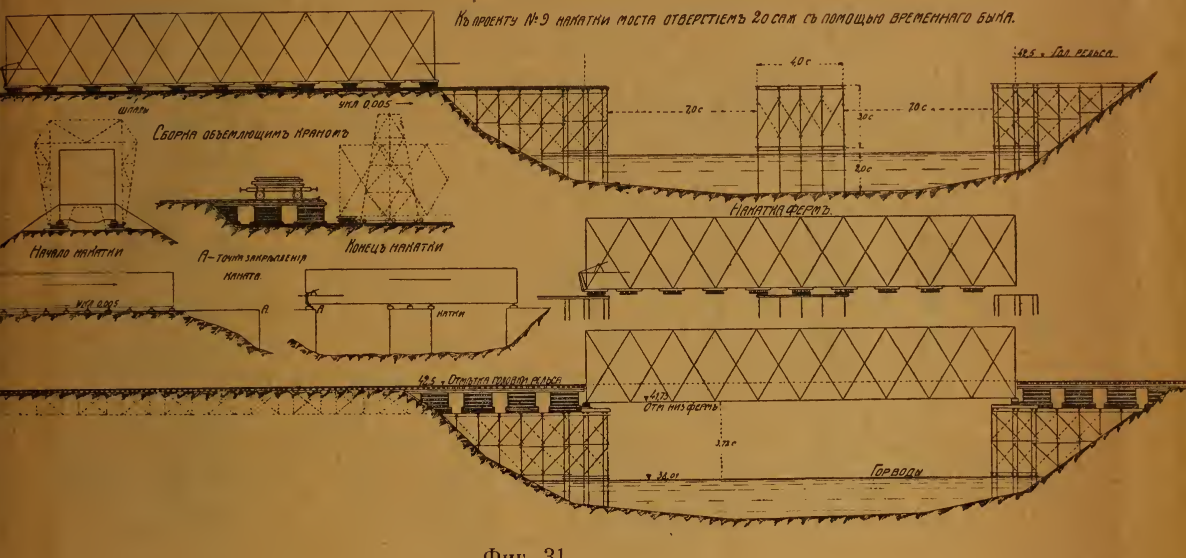
Сборка и установка рамъ. Послѣ забивки свай и нарубки на нихъ насадокъ, на насадкахъ укладываютъ лежни, а на нихъ временный настилъ изъ получистыхъ досокъ. На этомъ настилѣ собираютъ всѣ 9 рамъ въ горизонтальномъ положеніи, укладывая ихъ одна на другую, какъ показано на чертежѣ. При помощи лебедки рамы поднимаются и устанавливаются въ вертикальномъ положеніи. Послѣ поднятія каждая рама тотчасъ же связывается съ предыдущей рамой при помощи креста изъ пластинъ 4.2 верш. длиною 3,5 саж., укрѣпленныхъ болтами діам. $^3/_4$ дм.

Прогоны приняты изъ 5 верш. сосновыхъ бревенъ длиною 3 саж. и уложены на насадкахъ рамъ симметрично по отношенію къ стойкамъ и къ сборочнымъ клѣткамъ подъ фермами. Поперечины изъ $3^1/_2$ верш. бревенъ длиною 2,5 саж. уложены на прогонахъ въ количествѣ шести штукъ на каждую панель. Однимъ концомъ поперечины опираются на средній, а другимъ концомъ—на крайніе прогоны. Концы поперечинъ свѣшиваются за крайніе прогоны для укрѣпленія на нихъ перильныхъ стоекъ. Настилъ, уложенный на поперечинахъ, состоитъ изъ получистыхъ сосновыхъ досокъ сѣченіемъ 6.1 верш. Перила устроены изъ круглыхъ стоекъ діам. 3 верш. длиною 0,55 саж., врубленныхъ шипомъ въ концы поперечинъ и удерживаемыхъ подкосомъ изъ пластины ($3.1^1/_2$ верш. длиною 0,53 саж.). На стойки при помощи шипа нарубленъ порученъ изъ 3 верш. бревенъ. Съ внутренней стороны къ перильнымъ стойкамъ пришита одна получистая доска 4.1 верш. Чтобы избѣжать стыковъ этихъ досокъ, концы досокъ располагаются одинъ подъ другимъ.

Сборочныя клѣтки, расположенныя подъ каждымъ узломъ фермъ, составлены изъ 3-хъ рядовъ шпалъ, по 3 шпалы въ каждомъ ряду. Шпалы двухъ верхнихъ рядовъ имѣютъ длину 0,4 до 0,415 саж., равную одной трети длины обыкновенной шпалы (1,2—1,25 саж.). Шпалы нижняго ряда должны быть длиною около 1,2 саж. для того, чтобы передать давленіе фермы на бо́льшее число поперечинъ.

§ 24. **Проектъ № 9 [1]) накатки моста отверстіемъ 20 саж. съ помощью временнаго быка (фиг. 31)** (примѣнительно къ проекту моста за № 7). Способъ накатки моста съ помощью временнаго быка имѣетъ то преимущество, что можно одновременно вести работы по постройкѣ быка и по сборкѣ желѣзнаго пролетнаго строенія на берегу, чѣмъ сокращается срокъ, необходимый для постройки моста. Работы распадаются на двѣ послѣдовательныя операціи: 1) сборка желѣзнаго строенія и одновременно постройка быка и устоевъ и 2) накатка желѣзнаго строенія.

Сборка желѣзнаго строенія отверстіемъ 20 саж. (фиг. 31)



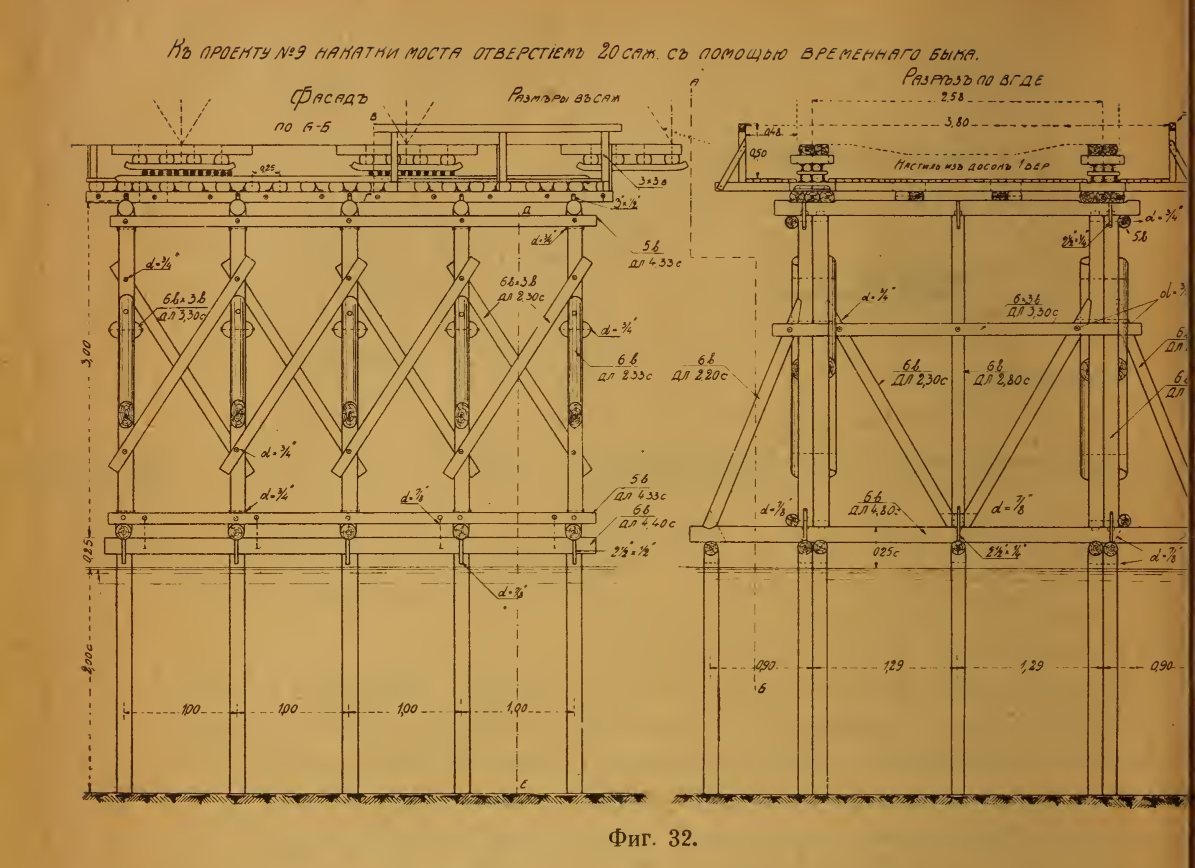
Фиг. 31.

производится на насыпи. Чтобы избѣжать опусканія собраннаго строенія, отмѣтка насыпи принята на 1,17 саж. ниже отмѣтки желѣзнодорожнаго полотна. На насыпи уложены сборочныя клѣтки, которыя размѣщены въ продольномъ направленіи на разстояніи 4,58 м. ось отъ оси, а въ поперечномъ направленіи—на разстояніи 5,5 м., равномъ ширинѣ моста. Въ составъ клѣтокъ введено два ряда рельсъ, чтобы упростить установку фермъ на катки; для этого достаточно замѣнить чугунными катками тотъ рядъ шпалъ, который расположенъ между обоими рядами рельсъ. Сборку желѣзнаго строенія предположено вести при помощи объемлющаго крана съ подъемною силою въ 100 пуд., который перемѣщается по рельсамъ.

Постройка быка и устоевъ. Одновременно со сборкою желѣзнаго строенія производится постройка опоръ. Временный быкъ (фиг. 32) состоитъ изъ свайнаго основанія и верхняго яруса изъ 5 поперечныхъ рамъ. Такая конструкція даетъ возможность ускорить работы, такъ какъ можно одновременно производить забивку свай фундамента и на берегу собирать рамы верхняго яруса, причемъ сборку каждой рамы можно поручить отдѣльной партіи плотниковъ. Свайный фундаментъ быка состоитъ изъ 35 шестивершковыхъ свай: 10-ти парныхъ коренныхъ и 15-ти одиночныхъ вспомогательныхъ. Число свай опредѣлено въ томъ предположеніи, что нагрузка передается только кореннымъ сваямъ и притомъ равномѣрно. Исходя изъ условія прочности насадки на смятіе, наибольшая нагрузка на

---

[1]) Главнымъ Военно-Техническимъ Управленіемъ этотъ проектъ одобренъ къ примѣненію на фронтахъ.

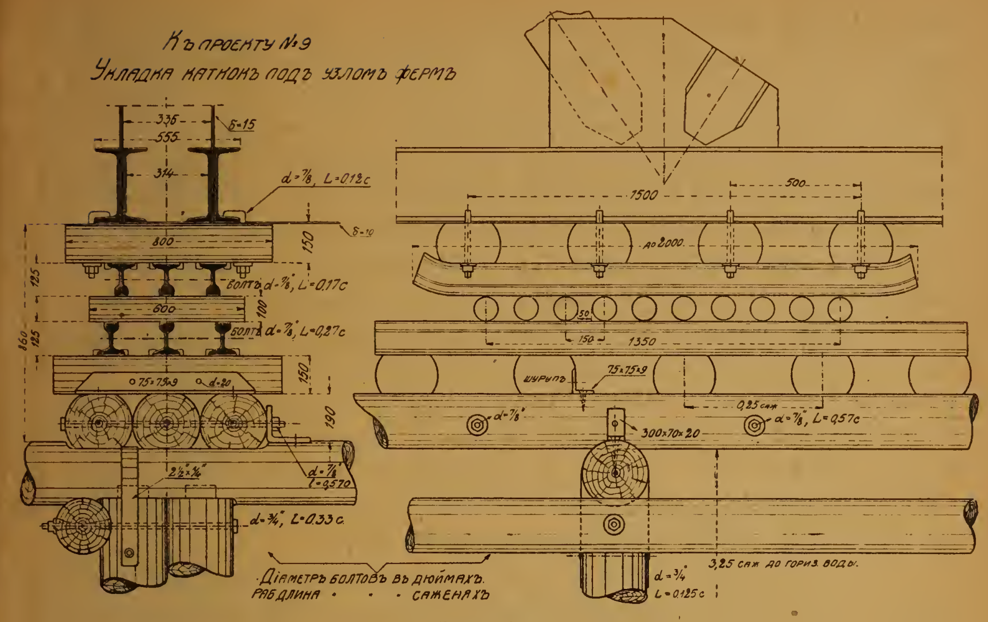


Фиг. 32.

одну шестивершковую коренную сваю допущена въ 500 пудовъ. На головы свай нижняго яруса нарублено пять насадокъ изъ круглаго лѣса. Верхній ярусъ быка состоитъ изъ пяти поперечныхъ рамъ и цѣлаго ряда діагональныхъ полусхватокъ изъ пластинъ. На насадки рамъ на разстояніи 2,58 саж. ось отъ оси уложены тройные прогоны изъ бревенъ $6^1/_2$ верш., отесанныхъ на два канта и стянутыхъ горизонтальными болтами. Бревна прогоновъ не имѣютъ стыковъ. На прогоны уложены поперечины, а на нихъ рельсы въ три ряда; длина рельсовъ одного ряда $30^1/_2$ фут. Чтобы облегчить скатываніе катковъ, концы рельсовъ немного отогнуты внизъ.

Устои можно выложить въ видѣ клѣтокъ изъ шпалъ или же въ видѣ деревянныхъ свайныхъ или рамныхъ опоръ. Иногда можно возстановить разрушенные каменные устои путемъ надстройки деревянной конструкціи.

Накатка пролетнаго строенія. Послѣ окончанія сборки пролетнаго строенія и постройки быка и устоевъ, приступаютъ къ накаткѣ. Въ сборочныхъ клѣткахъ, расположенныхъ подъ каждымъ узломъ фермъ (фиг. 33), замѣняютъ чугунными катками тотъ рядъ шпалъ, который находится между верхними тремя кусками рельсъ, прикрѣпленными къ узлу фермы и между нижними тремя рельсами, уложенными непрерывно на насыпи при



Фиг. 33.

посредствѣ шпалъ. Число катковъ, которые необходимо подвести подъ каждый узелъ фермъ, зависитъ отъ матеріала. При чугунныхъ каткахъ, для каждаго узла необходимо имѣть 10 катковъ діам. 10 см.; примѣняя катки изъ стали діам 8 см., число ихъ можно уменьшить до 7.

Установивъ всѣ узлы фермъ на катки, пролетному строенію придаютъ продольный уклонъ въ $^1/_{200}$, пользуясь для этого клиньями. Накатка производится съ помощью двухъ лебедокъ на 60 пуд. каждая и двухъ стальныхъ троссовъ, закрѣпленныхъ въ лѣвомъ устоѣ. На бykѣ катки по рельсамъ скатываются въ желобъ, а оттуда рабочими передаются на другой конецъ опоры и снова подводятся подъ узлы фермъ. Окончивъ накатку, подъ правый свѣшивающійся конецъ фермъ подводятъ неподвижныя опорныя части, а затѣмъ подвижныя опорныя части—подъ лѣвый конецъ фермъ. Послѣ этого удаляютъ катки, расположенные на быкѣ. Быкъ разбирается только послѣ открытія движенія по мосту. Затѣмъ переходятъ къ укладкѣ желѣзнодорожнаго пути. Если позволяетъ время, то площадку, на которой производилась сборка желѣзнаго строенія, подсыпаютъ до уровня желѣзнодорожнаго полотна. Если нельзя произвести этой работы, то на взаимномъ разстояніи въ 2 саж. между осями выкладываютъ клѣтки изъ перекрестныхъ рядовъ шпалъ и на нихъ при помощи прогоновъ изъ шпалъ укладываютъ рельсовый путь,

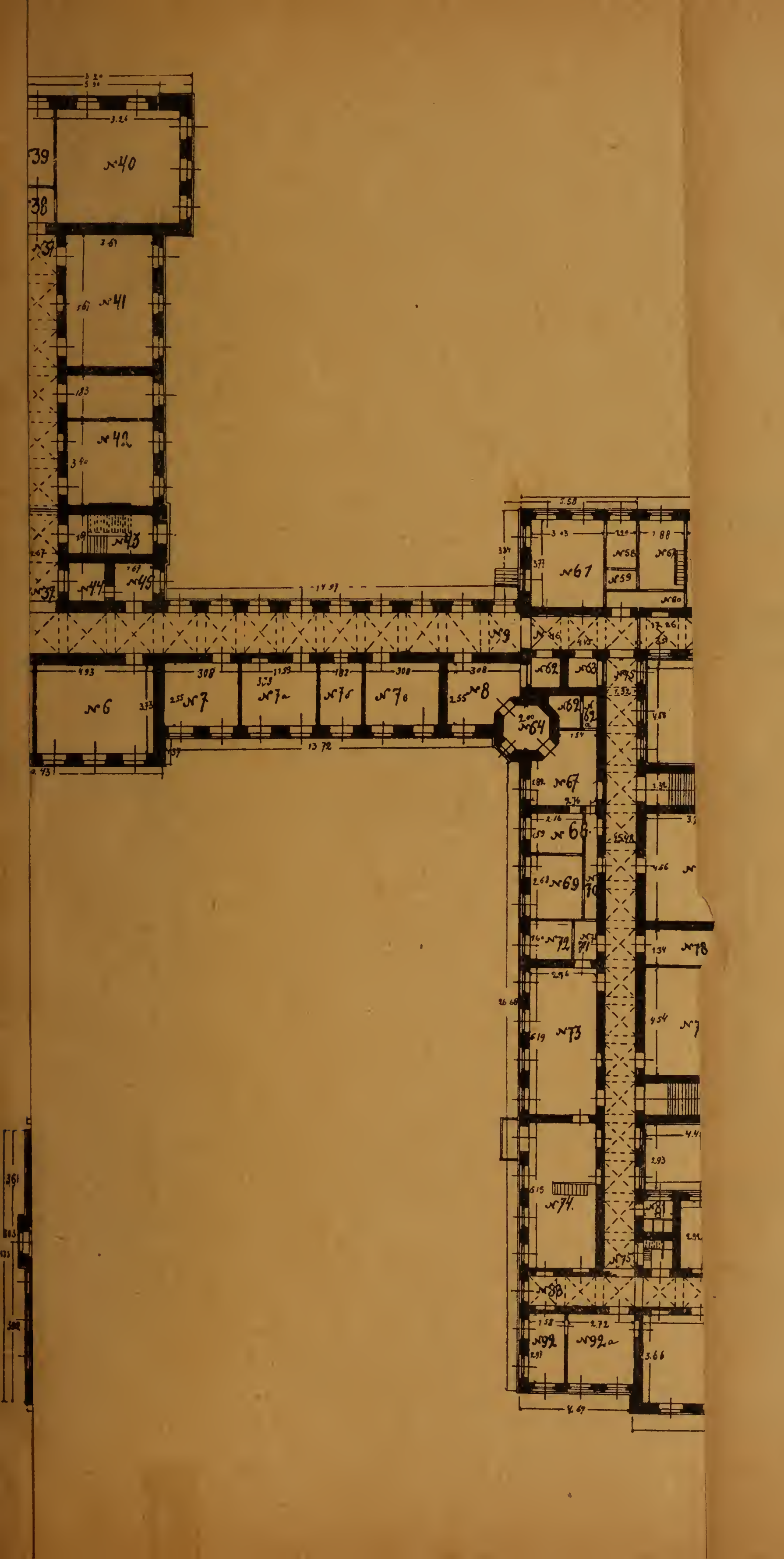
§ 25. Проектъ № 51 накатки моста отверстіемъ 25 саж. при помощи желѣзнаго аванбека (примѣнительно къ проекту за № 47). Аванбекъ представляетъ легкую желѣзную конструкцію, которая во время накатки слу-

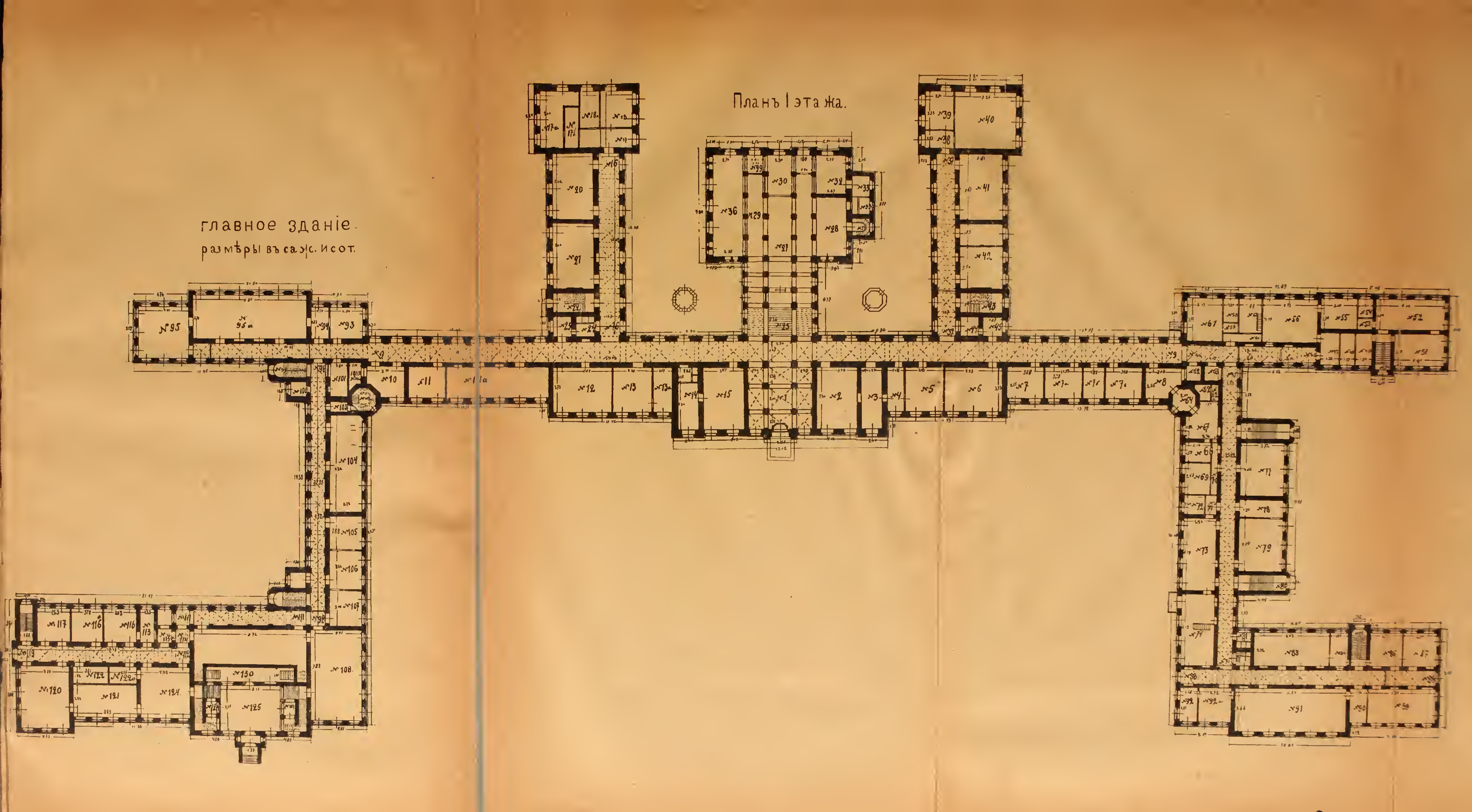
житъ продолженіемъ моста. Въ первый періодъ накатки аванбекъ функціонируетъ, какъ свободная консоль, назначеніе которой ускорить достиженіе другого берега. Во второй періодъ накатки аванбекъ, достигшій другого берега, катится по уложенному тамъ пути и поддерживаетъ тотъ конецъ моста, который свѣшивается надъ рѣкою. Примѣненіе аванбека даетъ возможность произвести накатку безъ устройства временнаго быка и умѣстно въ слѣдующихъ случаяхъ: 1) если русло рѣки загромождено взорваннымъ мостомъ и этимъ затрудняется постройка временнаго быка; 2) въ случаѣ большой высоты, когда постройка временнаго быка стоитъ очень дорого; 3) въ случаѣ быстраго теченія рѣки, затрудняющаго постройку временнаго быка; 4) въ случмѣ каменистаго дна, не допускающаго забивки свай подъ основаніе временнаго быка; 5) если ледоходъ препятствуетъ возведенію временнаго быка. Работы распадаются на слѣдующія операціи: а) сборка моста и аванбека на берегу и одновременно приспособленіе устоевъ для цѣлей накатки, b) накатка моста, с) разборка аванбека и установка моста на опоры и 4) укладка желѣзнодорожнаго пути.

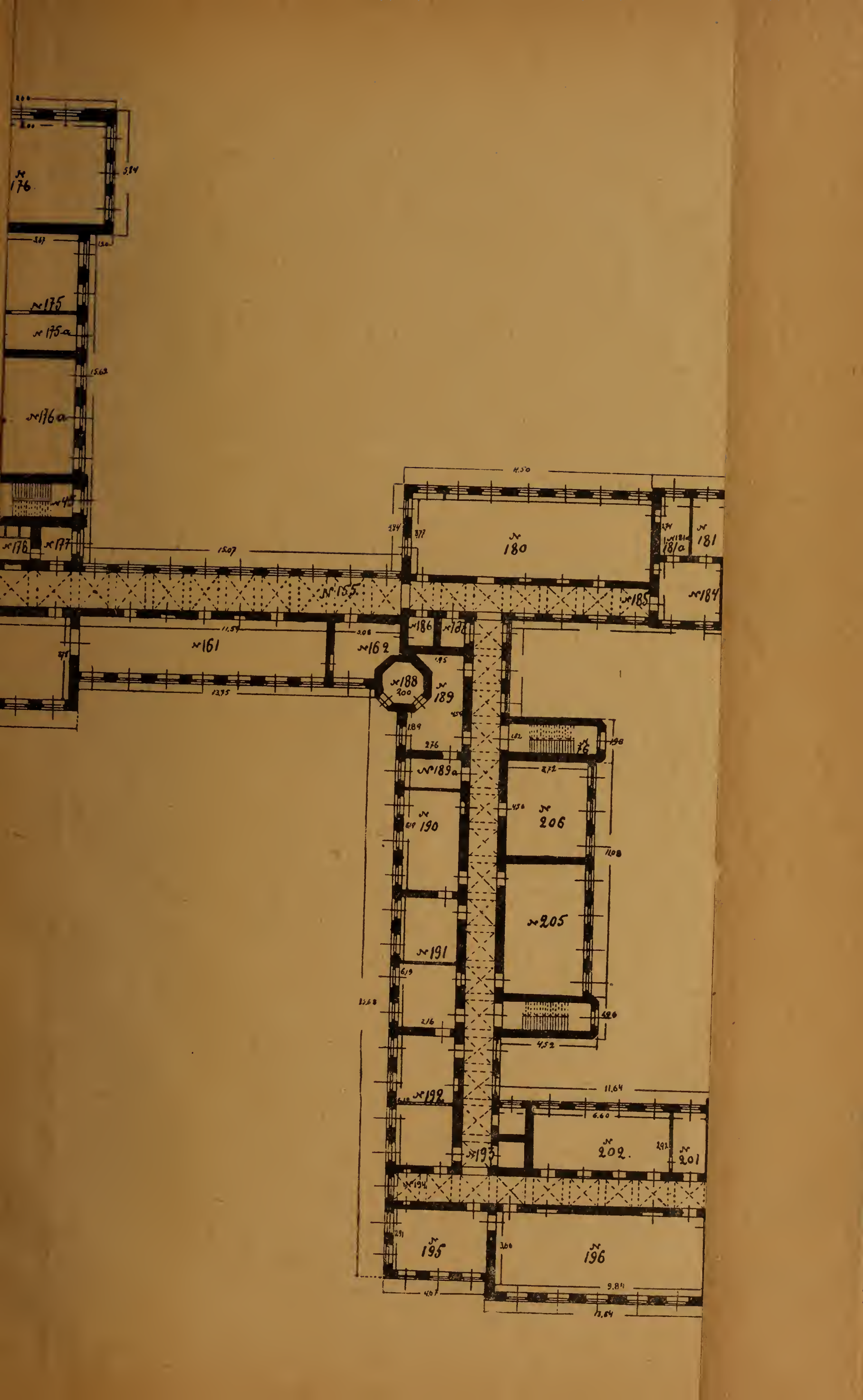
Сборка моста и аванбека производится на лѣвомъ берегу на насыпи (фиг. 34), которая срѣзана на 1,2 саж. ниже уровня желѣзнодорожнаго полотна для того, чтобы не надо было опускать пролетнаго строенія послѣ окончанія накатки. На насыпи укладываются сборочныя клѣтки, которыя размѣщаются подъ всѣми нижними узлами фермъ моста и аванбека. Въ составъ клѣтокъ сразу вводится по два ряда рельсъ, чтобы упростить послѣдующую установку фермъ на катки, для чего достаточно замѣнить катками тотъ рядъ шпалъ, который находится между обоими рядами рельсъ. (фиг. 35). Сборка моста и аванбека производится съ помощью объемлющаго крана, который перемѣщается по рельсамъ. Подъемная сила крана должна быть 250 пуд., такъ какъ вѣсъ отдѣльныхъ частей моста достигаетъ 132 пуд., а аванбека 225 пуд.

Приспособленіе каменныхъ устоевъ. Если устои не пострадали при разрушеніи моста и возвышаются надъ путями, уложенными для накатки моста, то верхнюю (шкафную) часть устоевъ разбираютъ до уровня накаточныхъ путей. Въ случаѣ разрушенія устоевъ, можно возстановить ихъ разрушенныя части при помощи деревянной конструкціи изъ стоекъ, подушекъ и схватокъ.

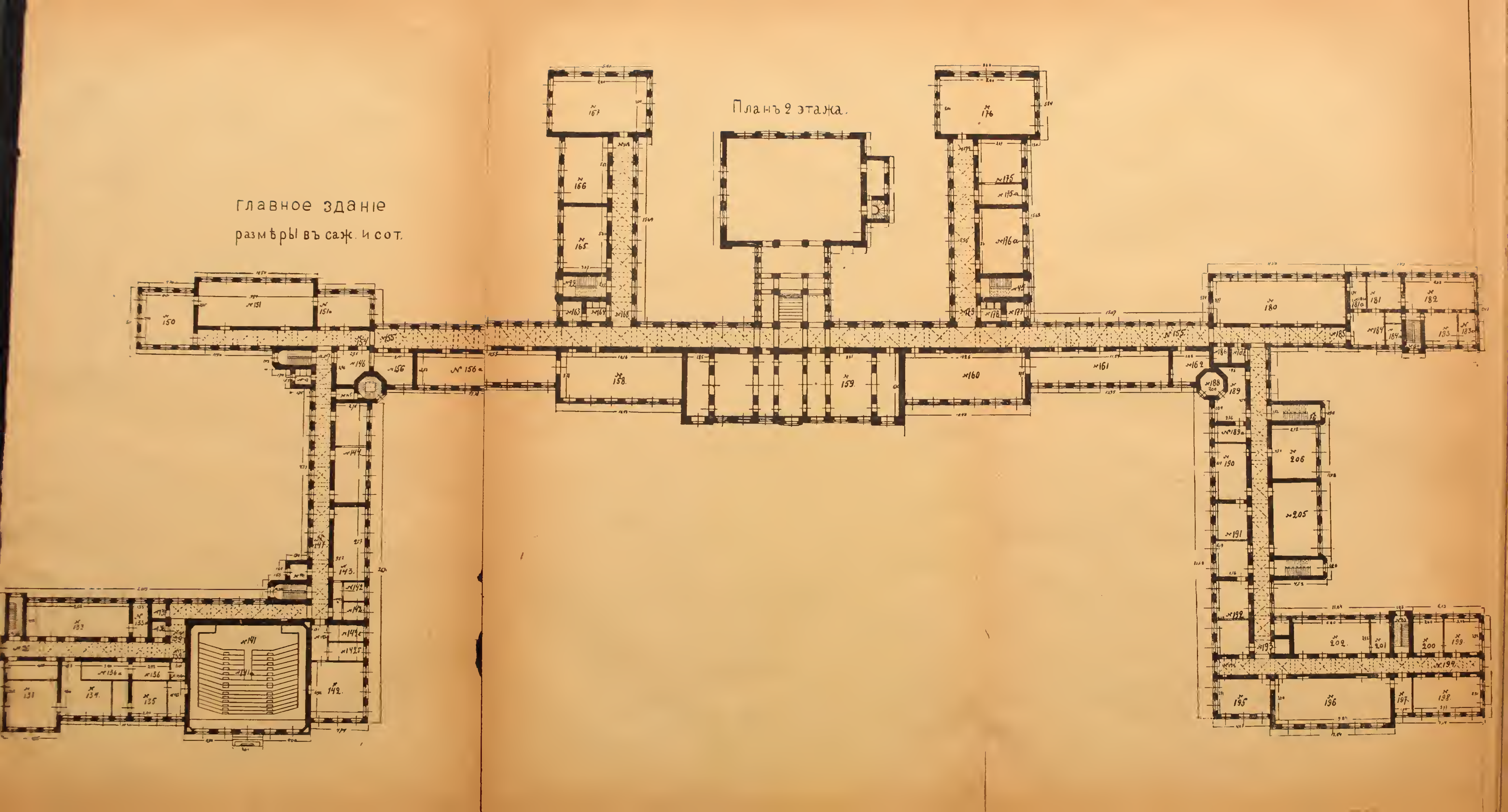
Накатка. Положенія моста и аванбека въ различныхъ стадіяхъ накатки показаны на фиг. 34. Послѣ окончанія сборки моста и аванбека, а также переустройства устоевъ, приступаютъ къ накаткѣ. Для этого въ сборочныхъ клѣткахъ замѣняютъ катками тотъ рядъ шпалъ, который находится между обоими рядами рельсъ. Подъ каждый узелъ фермъ моста укладывается по 10 стальныхъ катковъ діам. 12 см. Установка фермъ на катки детально разработана на фиг. 35. Чтобы поддерживать плотное соприкасаніе рельсъ съ катками, между рядами шпалъ забиваются клинья. Съ помощью тѣхъ же клиньевъ фермы устанавливаются съ продольнымъ

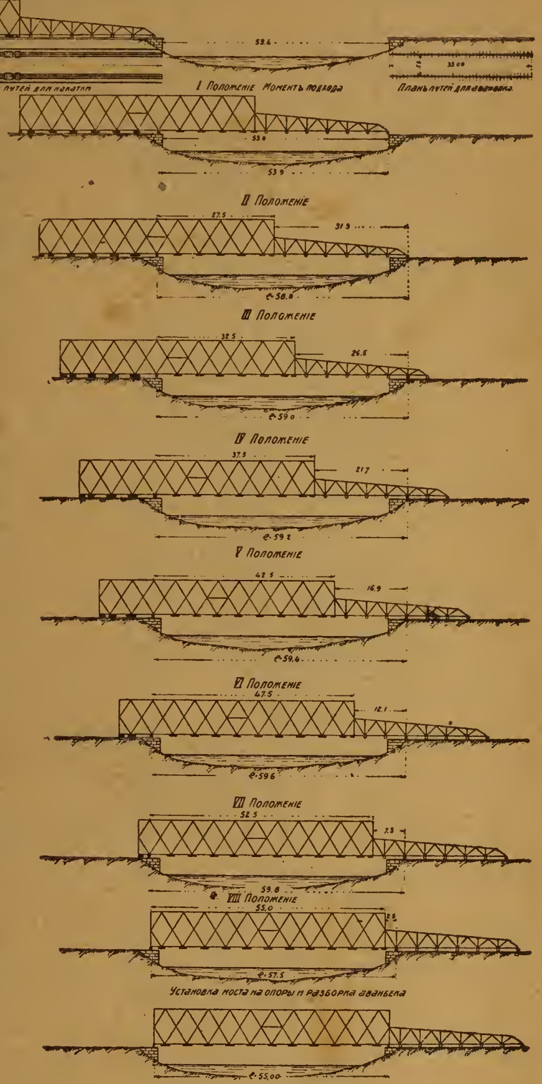

39
№40
38
№37
№41
№42
№43
№44
№45
№6
№7
№7a
№7б
№7в
№8
№9
№61
№58
№59
№60
№62
№63
№64
№67
№68
№69
№70
№72
№71
№73
№74
№75
№78
№81
№88
№92
№92a


Планъ I этажа.
Главное зданіе.
размѣры въ саж. и сот.
№ 95
№ 95 а
№ 93
№ 10
№ 11
№ 11 а
№ 12
№ 13
№ 15
№ 2
№ 5
№ 6
№ 7
№ 8
№ 20
№ 21
№ 36
№ 30
№ 28
№ 27
№ 40
№ 39
№ 38
№ 41
№ 42
№ 104
№ 105
№ 106
№ 107
№ 108
№ 117
№ 116
№ 120
№ 121
№ 124
№ 125
№ 130
№ 61
№ 56
№ 55
№ 52
№ 77
№ 78
№ 79
№ 73
№ 83
№ 91



№ 176
№ 175
№ 175a
№ 176a
№ 178
№ 177
№ 155
№ 161
№ 162
№ 186
№ 187
№ 188
№ 189
№ 189a
№ 190
№ 191
№ 192
№ 193
№ 194
№ 195
№ 196
№ 180
№ 181a
№ 181
№ 184
№ 185
№ 206
№ 205
№ 202.
№ 201


Главное зданiе
размѣры въ саж. и сот.
Планъ 2 этажа.

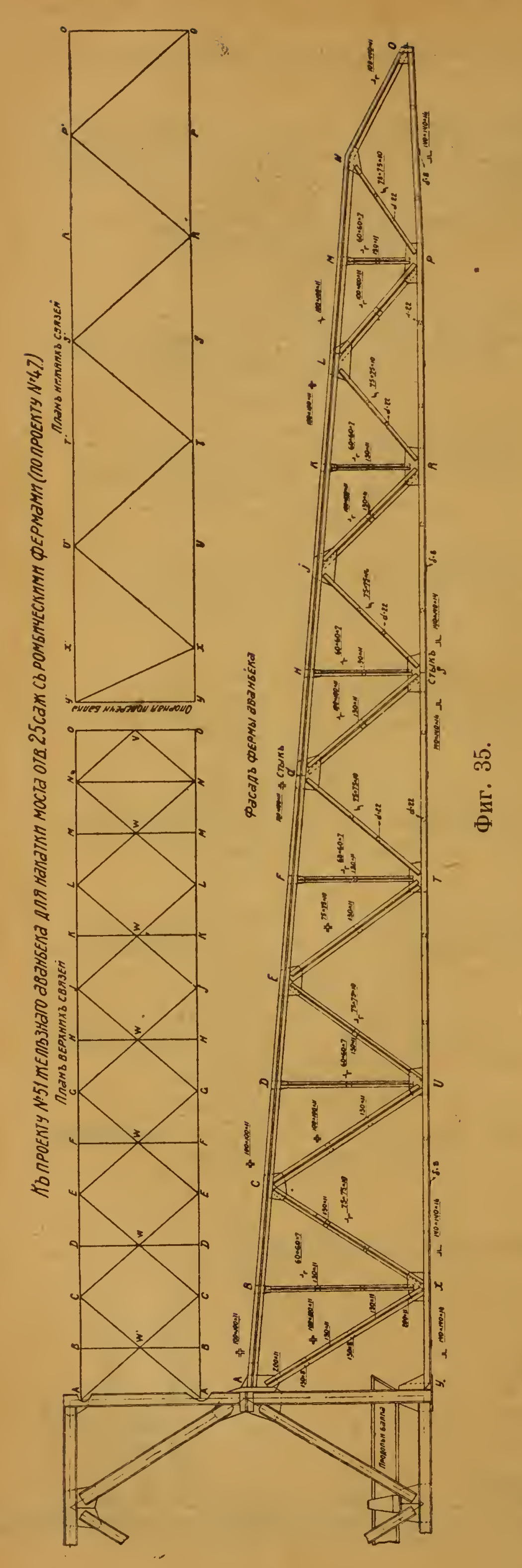


Фиг. 34.

уклономъ въ 0,005. Такой же уклонъ придаютъ пути для аванбека на правомъ берегу. Аванбекъ освобождается отъ поддерживающихъ его клѣтокъ; къ его нижнимъ узламъ прикрѣпляются ролики, и съ этого момента онъ находится въ условiяхъ консоли, прикрѣпленной къ мосту. Накатка производится съ помощью двухъ лебедокъ на 80 пуд. каждая и двухъ стальныхъ троссовъ, закрѣпленныхъ въ ближайшемъ устоѣ. При подходѣ носа аванбека къ правому устою, необходимо направить его точно по уложенному тамъ пути; для этого къ носу прикрѣпляется два каната, которые управляются рабочими. Окончивъ накатку, приступаютъ къ разборкѣ аванбека и погрузкѣ его на желѣзнодорожныя платформы.

Укладка желѣзнодорожнаго пути. Закончивъ установку моста на опоры, пере-

Фиг. 35.



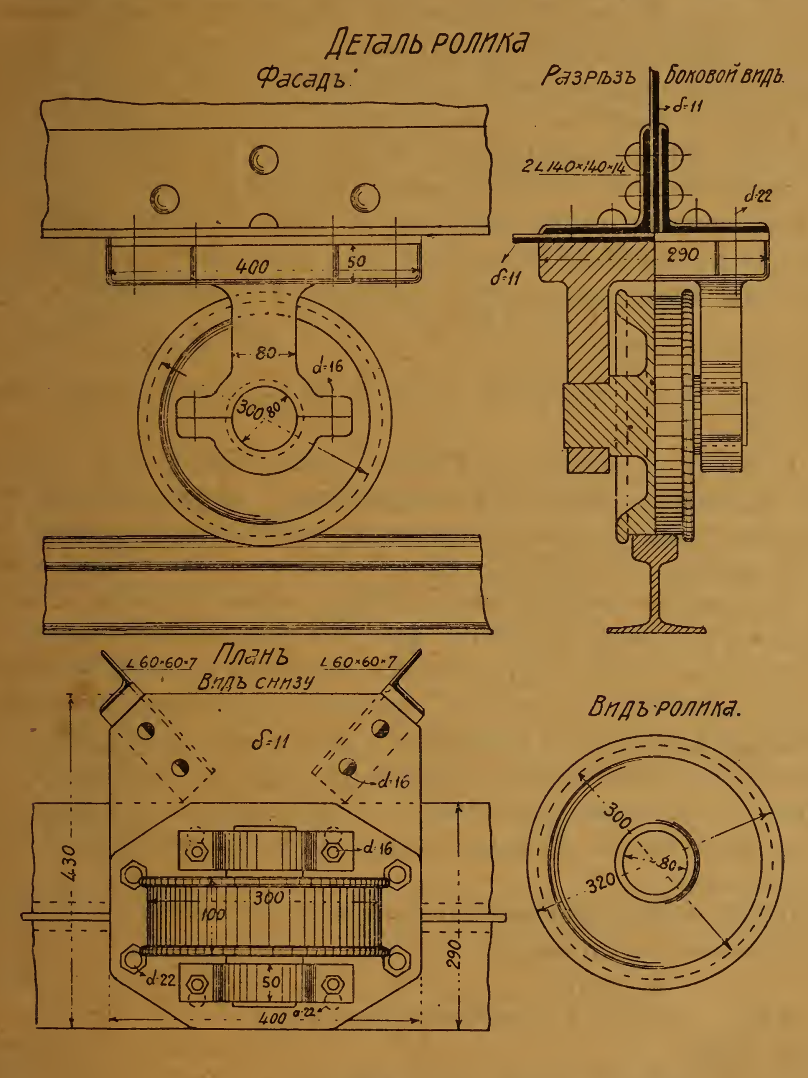
Фиг. 35.

ходятъ къ послѣдней операціи, т. е. къ укладкѣ желѣзнодорожнаго пути. Если позволяетъ время и состояніе погоды, то площадку, на которой собиралось пролетное строеніе и аванбекъ, подсыпаютъ до уровня желѣзнодорожнаго полотна. Если нельзя производить земляныхъ работъ, то изъ шпалъ выкладываютъ рядъ клѣтокъ и на нихъ укладываютъ желѣзнодорожный путь.

Описаніе конструкціи (фиг. 36). Аванбекъ состоитъ изъ двухъ вертикальныхъ сквозныхъ фермъ треугольной формы, соединенныхъ между собой верхними и нижними связями. Каждая ферма состоитъ изъ горизонтальнаго нижняго и наклоннаго верхняго пояса; рѣшетка фермъ — треугольная съ дополнительными стойками. Длина аванбека въ 31,3 мет. разсчитана такъ, чтобы въ моментъ его подхода къ правому устою, свѣшивающаяся надъ рѣкой часть моста съ аванбекомъ не перевѣшивала части моста, находящейся на лѣвомъ берегу (I положеніе). Максимальная высота фермъ аванбека назначена такъ, чтобы при погрузкѣ на желѣзнодорожныя платформы въ вертикальномъ положеніи, фермы помѣщались въ предѣлахъ высоты габарита, равной 5,547 — 1,243 = = 4,304 м., считая отъ пола платформъ. Въ узлахъ G и S каждая ферма аванбека разбирается на двѣ части, причемъ длина части YS = 16,7 м., а части SO = 14,4 м. Для перевозки всѣ эти части грузятся на двѣ сцѣ-

пленныя желѣзнодорожныя платформы и ставятся рядомъ. На эти же платформы грузятся діагонали и распорки связей, ролики и все прочее.

Детали конструкціи. Нижнему поясу фермъ придано тавровое сѣченіе изъ двухъ уголковъ, а верхнему поясу—крестовое сѣченіе изъ четырехъ уголковъ, кромѣ первой панели, гдѣ принято два уголка. Раскосы AX, CU, ET составлены изъ четырехъ уголковъ крестомъ; раскосы CX, EU, SG, KK и MP изъ двухъ уголковъ крестомъ (фиг. 36). Остальные



Фиг. 37.

раскосы имѣютъ зетовое сѣченіе изъ двухъ уголковъ. Въ остріѣ аванбека нижній поясъ приподнятъ на 15 см. съ тѣмъ, чтобы при подходѣ къ правому устою носъ не оказался ниже уложеннаго тамъ пути, вслѣдствіе

прогиба всей системы. Въ узлахъ раскосы и стойки соединены съ поясами при помощи фасонныхъ прокладокъ толщиною 11 мм. Въ виду того, что пояса и раскосы аванбека спроектированы одностѣнчатаго сѣченія, между тѣмъ какъ фермы моста имѣютъ двустѣнчатыя сѣченія, элементы аванбека АВ, АХ и ХУ пришлось спроектировать вилкообразной формы. Для прикрѣпленія этихъ элементовъ къ среднему и нижнему узлу опорныхъ стоекъ моста, узловыя прокладки моста замѣнены новыми прокладками, выпущенными за предѣлы опорной стойки на ширину 10 см. Горизонтальная накладка въ нижнемъ опорномъ узлѣ моста также выпущена наружу на 20 см. Верхнія связи спроектированы ромбической системы съ дополнительными распорками. Всѣ діагонали и распорки составлены изъ одиночнаго уголка 60.60.7 мм. Уголки діагоналей не прерываются въ мѣстахъ W ихъ взаимнаго пересѣченія, а уголки распорокъ прерываются въ этихъ мѣстахъ, и обѣ ихъ половины связываются между собою помощью рыбки. Нижнія связи имѣютъ треугольную рѣшетку изъ однѣхъ діагоналей, составленныхъ каждая изъ одиночнаго уголка 60.60.7 мм. Уголковъ принято только четыре сорта, а именно $\frac{140.140}{14}$, $\frac{100.100}{11}$, $\frac{75.75}{10}$ и $\frac{60.60}{7}$ мм. Заклепки примѣнены двухъ діаметровъ 22 и 16 мм., а болты — трехъ діаметровъ 26, 22 и 16 мм.

Ролики и подушки для нихъ спроектированы изъ литой стали (фиг. 37). Ролики діам. 30 см, вмѣсто спицъ, имѣютъ сплошную стѣнку толщиною 20 мм. Подушки для роликовъ располагаются во всѣхъ нижнихъ узлахъ аванбека и каждая подушка 8-ю болтами діам. 22 мм. прикрѣпляется къ уголкамъ нижняго пояса. Между этими уголками и подушками помѣщаются горизонтальныя накладки для прикрѣпленія нижнихъ связей.

Допущенныя напряженія. Аванбекъ представляетъ вспомогательную временную конструкцію, которая подвергается дѣйствію только постоянной нагрузки отъ собственнаго вѣса и вѣса разборнаго моста; поэтому излишне разсчитывать аванбекъ по тѣмъ же допускаемымъ напряженіямъ, по которымъ разсчитывается разборный мостъ, какъ это сдѣлано для аванбека системы Эйфеля, а можно допустить значительно повышенныя напряженія.

Для литого желѣза аванбека нами допущено на растяженіе . .	1400 к/см.^{2}.
Для заклепокъ на срѣзываніе	1000 „
„ „ на смятіе	2500 „

Вѣсъ аванбека слагается изъ вѣса

обѣихъ фермъ	12616 кил.
верхнихъ и нижнихъ связей между фермами	1700 „
стальныхъ роликовъ и подушекъ къ нимъ	1554 „

Полный вѣсъ металла въ аванбекѣ . . . . . 15870 кил., или 969 пудовъ.
Вѣсъ измѣненныхъ частей въ фермахъ моста . 1216 кил., или 74 пуд.

Элементы графическаго разсчета телефонныхъ линій.

Глава I.

„ПОСТОЯННЫЯ" телефонныхъ линій.

При разсчетѣ телефонныхъ линій особенное значеніе имѣетъ показатель затуханія a и такъ называемая характеристика линіи Z (ея кажущееся сопротивленіе—impédance).

Зависимость этихъ величинъ отъ электрическихъ свойствъ линіи —

ρ — омическаго сопротивленія на 1 km.

γ — емкости „ 1 „

λ — самоиндукціи „ 1 „

σ — утечки—величины, обратной сопротивленію изоляціи—на 1 km.— опредѣляется изъ формулъ *)

$$a^2 = (\rho + j\omega\lambda)(\sigma + j\omega\gamma)$$

$$Z^2 = \frac{\rho + j\omega\lambda}{\sigma + j\omega\gamma}.$$

Оба эти параметра, будучи представлены въ комплексной формѣ, даютъ

1)
$$a = \alpha + j\beta = \sqrt{(\rho + j\omega\lambda)(\sigma + j\omega\gamma)}$$
$$Z = m + jn = \sqrt{\frac{\rho + j\omega\lambda}{\sigma + j\omega\gamma}}$$

гдѣ

α — показатель затуханія,

β — показатель фазы (величина, обратно-пропорціональная длинѣ волны и скорости ея распространенія),

m — омическое сопротивленіе,

n — реактивное (самоинд. или емкость).

---

*) Параметры a и Z вводятся при рѣшеніи дифференціальныхъ уравненій:

$$-\frac{dE}{dx} = \rho J + \lambda\frac{dJ}{dt} = (\rho + j\omega\lambda)J$$

$$-\frac{dJ}{dx} = \sigma E + \gamma\frac{dE}{dt} = (\sigma + j\omega\gamma)E.$$

(См. Devaux—Charbonnel: Etude sur les lignes téléphoniques. La lumière électrique 1909 T. VI et VII.

F. Breisig. Theoretische Telegraphie S. 281.

J. A. Fleming. The propagation of electric currents in telephone and telegraph conductors P 72.

P. Drumaux. La téléphonie à grande distance P. 43.

Уравненія (1) даютъ возможность опредѣлить эти величины:

$$\alpha = \sqrt{\frac{\rho\sigma - \omega^2\gamma\lambda + \sqrt{(\rho^2 + \omega^2\lambda^2)(\sigma^2 + \omega^2\gamma^2)}}{2}}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{-\rho\sigma + \omega^2\gamma\lambda + \sqrt{(\rho^2 + \omega^2\lambda^2)(\sigma^2 + \omega^2\gamma^2)}}{2}}$$

2) $$m = \sqrt{\frac{\rho\sigma + \omega^2\gamma\lambda + \sqrt{(\rho\sigma + \omega^2\gamma\lambda)^2 + \omega^2(\lambda\sigma - \gamma\sigma)^2}}{2(\sigma^2 + \omega^2\gamma^2)}}$$

$$n = \sqrt{\frac{-\rho\sigma - \omega^2\gamma\lambda + \sqrt{(\rho\sigma + \omega^2\gamma\lambda)^2 + \omega^2(\lambda\sigma - \gamma\rho)^2}}{2(\sigma^2 + \omega^2\gamma^2)}}$$

$$Z = \sqrt{\frac{\sqrt{(\rho\sigma + \omega^2\gamma\lambda) + \omega^2(\lambda\sigma - \gamma\rho)^2}}{\sigma^2 + \omega^2\gamma^2}}.$$

Эти формулы даютъ возможность изслѣдовать вліяніе линейныхъ данныхъ. Такъ какъ онѣ довольно сложны и мало-наглядны, то для полученія какихъ-либо опредѣленныхъ выводовъ вводятся обычно добавочныя условія.

Особенно интереснымъ и практически важнымъ является случай, который можно назвать **состояніемъ резонанса** телефонной линіи, т. е. при $n = 0$; это возможно, если

$$\gamma\rho = \lambda\sigma.$$

Тогда

$$\alpha = \sqrt{\rho\sigma}$$

3) $$\beta = \sqrt{\omega^2\gamma\lambda}$$

$$m = \sqrt{\frac{\rho}{\sigma}} = Z$$

$$n = 0.$$

Для всѣхъ остальныхъ случаевъ полагаютъ

$$\sigma = \varepsilon\frac{\gamma\rho}{\lambda},$$

давая ε различныя значенія.

При этомъ получаются формулы

$$\alpha = \frac{\rho}{2}\sqrt{\frac{\gamma}{\lambda}}(1 + \varepsilon)$$

4) $$\beta = \omega\sqrt{\gamma\lambda}\sqrt{1 + \frac{\rho^2}{4\omega^2\lambda^2}(1 - \varepsilon)^2}$$

$$m = \sqrt{\frac{\lambda}{\gamma}}\left\{1 + \frac{\rho^2}{8\omega^2\lambda^2}(1 + 2\varepsilon)\right\}$$

$$n = \frac{\alpha(1 - \varepsilon)}{\omega\gamma}.$$

Полученныя формулы, будучи значительно проще формулъ (2), также мало наглядны и не даютъ общей картины зависимости разсматриваемыхъ величинъ отъ линейныхъ данныхъ.

Такую картину можно получить только графическимъ путемъ; для этого формулы (2) необходимо привести къ другому виду.

Если принять во вниманіе то, что α и m — дѣйствительные, а β и n — мнимые члены двухъ комплексныхъ выраженій $\alpha + j\beta$ и $m + jn$, причемъ

$$\alpha + j\beta = \sqrt{(\rho + j\omega\lambda)(\sigma + j\omega\gamma)}, \text{ а}$$

$$m + jn = \sqrt{\frac{\rho + j\omega\lambda}{\sigma + j\omega\gamma}},$$

то

$$\alpha = \sqrt{\sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2}\ \sqrt{\sigma^2 + \omega^2\gamma^2}\ \mathrm{Cs}\ \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}}$$

$$\beta = \sqrt{\sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2}\ \sqrt{\sigma^2 + \omega^2\gamma^2}\ \mathrm{Sn}\ \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}}$$

5) $$m = \sqrt{\frac{\sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2}}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2\gamma^2}}\ \mathrm{Cs}\ \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}}$$

$$n = \sqrt{\frac{\sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2}}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2\gamma^2}}\ \mathrm{Sn}\ \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}}$$

$$Z = \sqrt{\frac{\sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2}}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2\gamma^2}}},$$

гдѣ

$$\theta_1 = \operatorname{arc} tg\ \frac{\omega\lambda}{\rho}$$

$$\theta_2 = \operatorname{arc} tg\ \frac{\omega\gamma}{\sigma}.$$

Въ то время, какъ формулы для α и β легко допускаютъ графическое построеніе, остальныя формулы нуждаются въ добавочномъ преобразованіи.

Умножая между собою выраженія для α и m и замѣняя косинусы полусуммы и полуразности суммой косинусовъ, получимъ

6) $$m = \frac{1}{2\alpha}(\rho + \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2}\ \mathrm{Cs}\ \theta_2) = \frac{bk}{2d}.$$

Подобнымъ же преобразованіемъ получаемъ

7) $$n = \frac{1}{2\alpha}(\omega\lambda - \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2}\ \mathrm{Sn}\ \theta_2) = \frac{lp}{2\alpha}.$$

Если извѣстно построеніе m и n, то легко построить и Z, такъ какъ $Z=\sqrt{m^2+n^2}$.

Построеніе всѣхъ этихъ формулъ выполнено на фиг. 1, причемъ для того чтобы сдѣлать особенно ясными пріемы построенія, значенія для ρ, λ, γ и σ намѣренно взяты несоотвѣтствующими дѣйствительнымъ условіямъ.

Общій случай.

Построеніе α и β

1. Строятся два прямоугольныхъ треугольника: одинъ—съ катетами $\rho=ab$ и $\omega\lambda=Ob$, причемъ уголъ при вершинѣ a этого треугольнина $=$ $=\theta_1=\operatorname{arc} tg\,\frac{\omega\lambda}{\rho}$, и другой—съ катетами $\sigma=cd\,10^{-6}$ и $\omega\gamma=oc\,.\,10^{-6}$; $<\theta_2=$ $=\operatorname{arc} tg\,\frac{\omega\gamma}{\sigma}$.

При построеніи этихъ треугольниковъ ихъ слѣдуетъ расположить такъ, чтобы Oa была наложена на Od, и вершины O совпадали; это даетъ возможность для послѣдующаго построенія примѣнить пріемъ, дающій наиболѣе компактный чертежъ.

2. Строится $a=\sqrt{\alpha^2+\beta^2}=\sqrt{\sqrt{\rho^2+\omega^2\lambda^2}\;\sqrt{\sigma^2+\omega^2\gamma^2}}$.

Эта величина представляетъ собою среднюю пропорціональную между гипотенузами Oa и Od.

Описывая полуокружность на Od, какъ на діаметрѣ, и возстановляя перпендикуляръ изъ точки a, получаемъ $a=oh_1\;10^{-3}$.

3. Пользуясь формулами

$$\alpha=\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\,\operatorname{Cs}\frac{\theta_1+\theta_2}{2}$$

и

$$\beta=\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\,\operatorname{Sn}\frac{\theta_1+\theta_2}{2},$$

можно построить α и β. Для этого:

— Описывая изъ точки O, какъ изъ центра, получаемъ $oh=oh_1$

— Строимъ при точкѣ O уголъ $=90-\frac{\theta_1+\theta_2}{2}$, такъ какъ это построеніе проще построенія угла $\frac{\theta_1+\theta_2}{2}$ при точкѣ h. Для этого проводимъ вспомогательную дугу $\phi\phi_2$; пересѣченіе съ продолженіемъ oc даетъ дугу $\phi\phi_1$, соотвѣтствующую углу $=90-\theta_2$; дуга $\phi\phi_2$, соотвѣтствующая углу $90-\theta_1$, получается продолженіемъ катета ob. Раздѣляя разность этихъ дугъ $\phi_1\phi_2$ пополамъ, по-

лучаемъ дугу $\phi\phi_3$, соотвѣтствующую углу $90 - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$ $\left(\phi\phi_1 + \frac{\phi\phi_2 - \phi\phi_1}{2} = \right.$
$\left. = 90 - \theta_2 + \frac{90 - \theta_1 - 90 + \theta_2}{2} = 90 - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right)$.

—Опуская изъ точки h перпендикуляръ на линію $O\phi_3$, получаемъ прямоугольный треугольникъ, гипотенуза котораго $= \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$, а уголъ при вершинѣ $h = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$. Слѣдовательно

$$\alpha = gh \,.\, 10^{-3}$$

$$\beta = og \,.\, 10^{-3}.$$

Построеніе m и n.

1. Какъ извѣстно, $m = \frac{bk}{2\alpha}$, гдѣ $bk = \rho + \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2} \operatorname{Cs} \theta_2$.

—Опуская изъ точки a перпендикуляръ на линію oc, получаемъ $ap = \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2} \operatorname{Cs} \theta_2$.

—Продолжая ba въ сторону a и описывая изъ точки a, какъ изъ центра, радіусомъ ap дугу до пересѣченія съ продолженіемъ линіи ba, получаемъ $bk = \rho + \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2} \operatorname{Cs} \theta_2$.

—Для полученія m слѣдуетъ численное значеніе bk раздѣлить на уже извѣстное значеніе 2α.*)

2. $n = \frac{lp}{2\alpha}$, гдѣ $lp = \omega\lambda - \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2} \operatorname{Cs} \theta_2$.

—Величина $\sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2} \operatorname{Sn} \theta_2$ уже построена; она равна op.

—Описывая изъ точки o, какъ изъ центра, дугу радіусомъ $= ob = \omega\lambda$, получимъ

$$-- lp = \omega\lambda - \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2} \operatorname{Sn} \theta_2.$$

Для полученія h слѣеуетъ численное значеніе lp раздѣлить на уже извѣстное численное значеніе 2α.

Построеніе угла сдвига фазы.

Уголъ сдвига фазы $\varphi = \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}$, такъ какъ

$$n = m \operatorname{tg} \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}.$$

Этотъ уголъ получается самъ собою при построеніи угла $90 - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$.

Дуга, соотвѣтствующая углу $\varphi = \frac{\theta_1 - \theta_2}{2}$, равняется $\phi_3 \phi_2$.

*) Графическое дѣленіе слишкомъ усложнило бы чертежъ.

Построеніе Z.

$Z = \sqrt{m^2 + n^2}$, т. е. гипотенузѣ прямогольнаго треугольника съ катетами m и n и угломъ $\frac{\theta_1 - \theta_2}{2}$, прилежащимъ къ катету m.

Описывая изъ точки b, какъ изъ центра, дугу радіусомъ bk, получаемъ на прямой $b\varphi_2$ точку ξ; возставляя изъ этой точки перпендикуляръ $\xi\xi_1$ и проводя черезъ точку b прямую, параллельную $o\varphi_3$, получаемъ треугольникъ $b\xi\xi_1$, въ которомъ

$$Z = \frac{1}{2a} \cdot b\xi_1 \text{ *)}.$$

Случай резонанса.

Состояніе резонанса получается при

$$\gamma\rho = \sigma\lambda \text{ или } \angle\theta_1 = \angle\theta_2.$$

Такъ какъ при обычныхъ условіяхъ это равенство не имѣетъ мѣста то оно достигается искусственно.

Обычнымъ способомъ служитъ

I увеличеніе λ до $\lambda_r = \frac{\gamma\rho}{\sigma}$,

но того же самаго теоретически можно было бы достигнуть

II уменьшеніемъ γ до $\gamma_r = \frac{\lambda\sigma}{\rho}$.

Графическое нахожденіе величинъ λ_r и γ_r, соотвѣтствующихъ резонансу, производится чрезвычайно легко.

I.

Условія: $\lambda_r = \frac{\gamma\rho}{\sigma}$, или $\theta_1{}^I = \theta_2$.

Отсюда слѣдуетъ, что треугольникъ, имѣющій катетами ρ и $\omega\lambda$, долженъ сдѣлаться подобнымъ треугольнику съ катетеми σ и $\omega\gamma$, причемъ этого слѣдуетъ достигнуть, измѣняя только λ, увеличивая до $\lambda_r = \frac{\gamma\rho}{\sigma}$.

Для этого продолжаемъ oc до тѣхъ поръ, пока перпендикуляръ, возставленный изъ изъ нѣкоторой ея точки (e), не будетъ равенъ $ab = \rho = ef$. Тогда oe будетъ соотвѣтствовать $\omega\lambda_r$.

Такимъ образомъ, мы имѣемъ два прямоугольныхъ треугольника:

— прежній ocd и

— новый oef,

*) См. прим. пред. стр.

причемъ сравнительно съ общимъ случаемъ λ увеличено до λ_r, а уголъ θ_1 сдѣлался равнымъ углу θ_2.

Съ этими треугольниками мы можемъ произвести тѣ же построенія, что и въ общемъ случаѣ, принимая во вниманіе, что

1. гипотенуза of больше od, а потому полуокружность строится на of,

2. $<\theta_1 = <\theta_2$, а потому нѣтъ надобности въ построеніи угла $90 - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$, такъ какъ $\frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = <\theta^2$

3. уголъ $\frac{\theta_1 - \theta_2}{2} = o$.

Произведя совершенно такія же построенія, имѣемъ

$$a_r^{I} = os_1 = os \qquad m_r^{I} = Z_r^{I} = \frac{1}{2a}\left(\rho + \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda_r^2 \, Cs\, \theta_2}\right) = \frac{\rho}{\alpha_r^{I}}$$
$$\alpha_r^{I} = rs$$
$$\beta_r^{I} = or \qquad n_r^{I} = o.$$

Тѣже самыя величины могутъ быть получены проще, пользуясь формулами (3):

$$1. \ \alpha_r^{I} = \sqrt{\rho\sigma}\,.$$

Продолжая линію ab въ сторону b, откладываемъ отъ точки b величину $by = cd = \sigma$; построивъ на линіи ya, какъ на діаметрѣ, полуокружность, и возставляя перпендикуляръ въ точкѣ b, получаемъ

$$\alpha_r^{I} = \sqrt{\rho\sigma} = bt = rs.$$
$$2. \ \beta_r^{I} = \sqrt{\omega^2\gamma\lambda_r} = \sqrt{\omega\gamma . \omega\lambda_r} = \sqrt{oc . oe}.$$

Построивъ на oe, какъ на діаметрѣ, полуокружность и возставивъ перпендикуляръ изъ точки c, имѣемъ

$$\beta_r^{I} = or_1 = or.$$

Что же касается построенія $Z_r^{I} = m_r^{I}$, то построеніе по формулѣ (3) сложнѣе предыдущаго.

Построеніе α_r^{I} и β_r^{I} по формуламъ (3) гораздо проще построенія по общему правилу, а потому его слѣдуетъ предпочесть; оба же способа можно примѣнять для повѣрки результатовъ.

II.

Условія: $\gamma_r = \frac{\lambda\sigma}{\rho}$ или $\theta_2^{II} = \theta_1$.

Построеніе γ_r производится аналогично построенію λ_r. Возстанавливаютъ перпендикуляръ изъ нѣкоторой точки (v) линіи ob, выбирая ее такъ чтобы $v\,w = \sigma$.

Тогда

$$ov = \omega\gamma_r$$

Такимъ образомъ имѣемъ два треугольника

прежній oba и
норый ovw,

причемъ сравнительно съ общимъ случаемъ величина γ уменьшена до $\gamma_r = \frac{\lambda\sigma}{\rho}$ и $< \theta_2$ сталъ равенъ $< \theta_1$.

Съ этими треугольниками мы поступаемъ такъ же, какъ и въ общемъ случаѣ, принимая во вниманіе, что

1. Гипотенуза $oa > ow$, вслѣдствіе чего полуокружность строится на oa,

2. $< \theta_2 = < \theta_1$, а потому $< \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = \theta_1$

3. $< \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} = o$.

Произведя построенія, находимъ

$$a_r^{II} = ox_1 = ox \qquad Z_r^{II} = m_r^{II} = \frac{\rho}{a_r^{II}}$$
$$\alpha_r^{II} = xu$$
$$\beta_r^{II} = ou \qquad n_r^{II} = o.$$

Тѣ же величины могутъ быть получены проще, пользуясь формулами (3)

1. $\alpha_r^{II} = \sqrt{\rho\sigma}$.

Построеніе тоже, что и въ предыдущемъ случаѣ, такъ что

$$a_r^{II} = a_r^{I} = bt$$

$$2.\ \beta_r^{II} = \sqrt{\omega^2\gamma_r.\lambda} = \sqrt{\omega\gamma_r.\omega\lambda} = \sqrt{ov.ob}.$$

Построивъ полуокружность на ob и возставивъ перпендикуляръ изъ точки v, имѣемъ

$$\beta_r^{II} = ou_1 = ou$$

Сравнивая между собою результаты, полученные обоими способами, имѣемъ

$$a_r^{I} = a_r^{II}$$

$$Z_r^{I} = Z_r^{II} = m_r^{I} = m_r^{II} = \frac{\rho}{a_r^{I}} = \frac{\rho}{a_r^{II}}$$

$$n_r^{I} = n_r^{II} = o$$

$$\varphi_r^{I} = \varphi_r^{II} = o.$$

$$\beta_r^{I} = \sqrt{\omega^2\gamma\lambda_r}$$

$$\beta_r^{II} = \sqrt{\omega^2\gamma_r\lambda}.$$

Результаты совершенно одинаковы за исключеніемъ значеній β_r^I и β_r^{II}. Если найти опредѣленное соотношеніе между β_r^I и β_r^{II}, то для обоихъ случаевъ можно было примѣнять одинъ способъ построенія. Такое соотношеніе существуетъ. Дѣйствительно,

$$\beta_r^I = \sqrt{\omega^2\gamma\lambda_r} = \sqrt{\omega^2\gamma\frac{\gamma\rho}{\sigma}} = \sqrt{\omega^2\gamma^2\frac{\rho}{\sigma}}$$

$$\beta^{II} = \sqrt{\omega^2\lambda\gamma_r} = \sqrt{\omega^2\lambda\frac{\lambda\sigma}{\rho}} = \sqrt{\omega^2\lambda^2\frac{\sigma}{\rho}}.$$

Перемножая, имѣемъ

$$\beta_r^I\,\beta_r^{II} = \sqrt{\omega^4\gamma^2\lambda^2\frac{\rho}{\sigma}\cdot\frac{\sigma}{\rho}} = \omega^2\gamma\lambda:$$

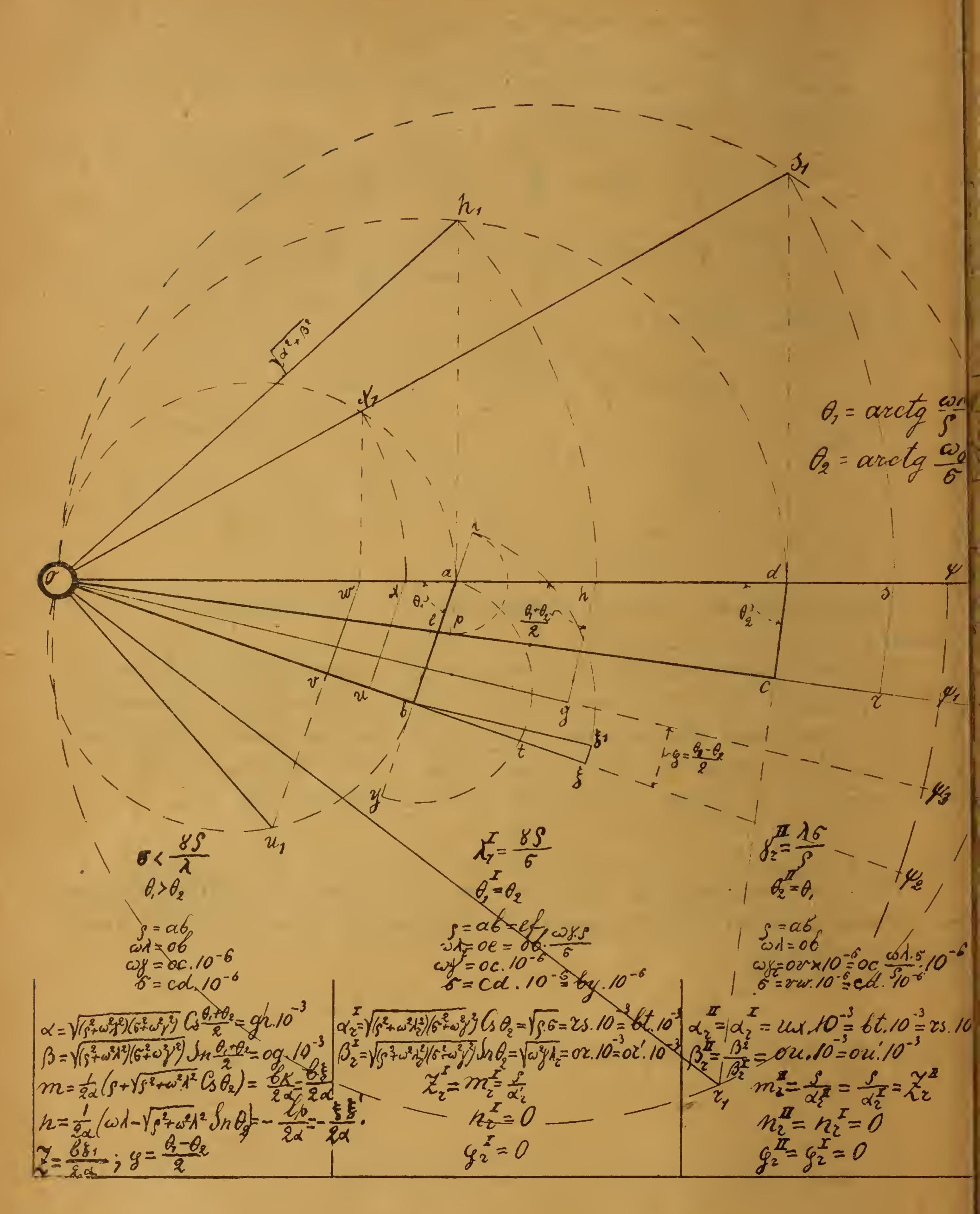
$$\sqrt{\beta_r^I\,\beta_r^{II}} = \sqrt{\omega^2\gamma\lambda} = \beta$$

$$\beta^{II} = \frac{\beta}{\sqrt{\beta^I}}.$$

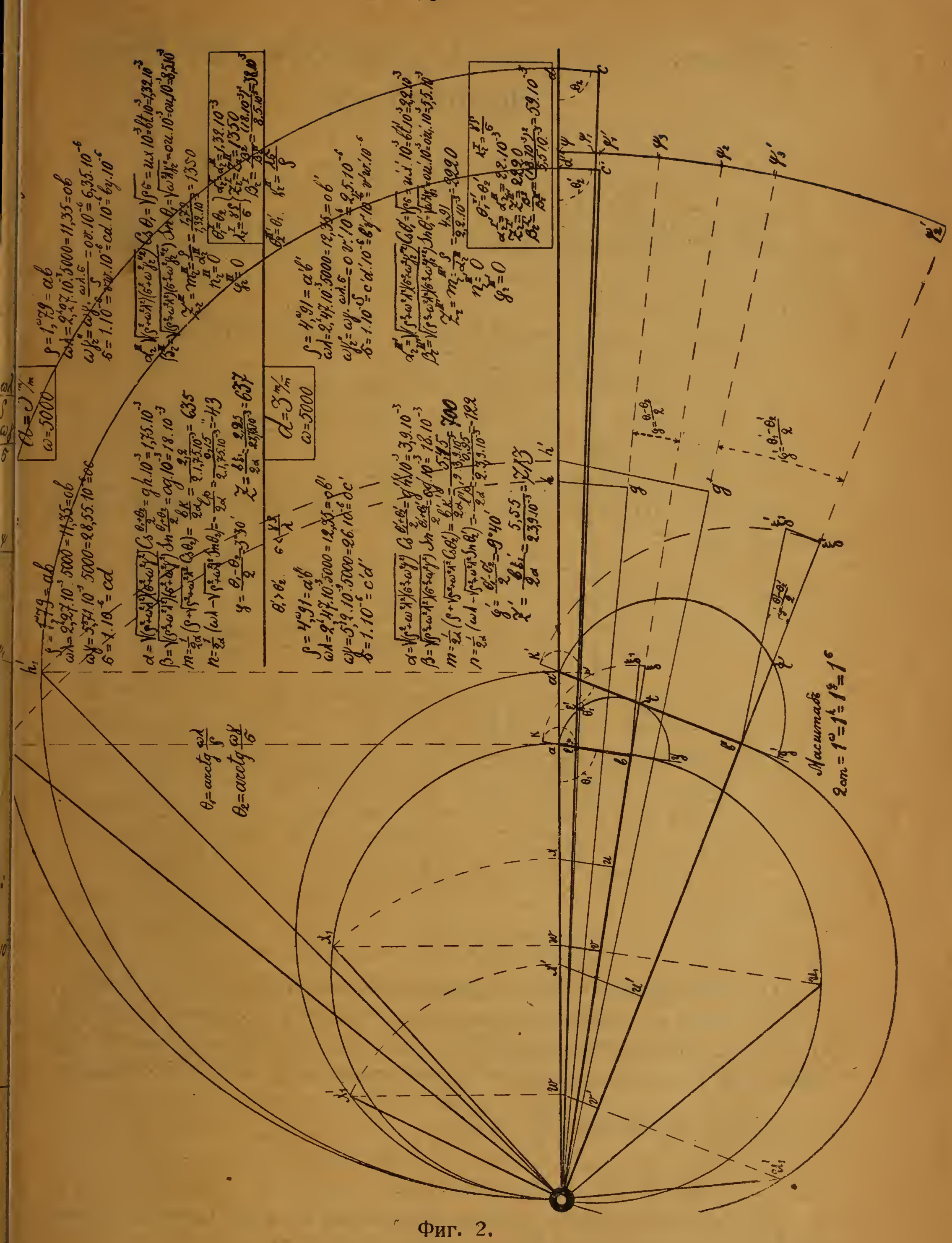
Такимъ образомъ, зная двѣ величины (β и β^I), всегда можно опредѣлить β^{II}.

Изъ этого сравненія видно, что для полученія значеній, соотвѣтствующихъ резонансу, совершенно достаточно воспользоваться однимъ изъ приведеныхъ способовъ; слѣдуетъ предпочесть способъ II, дающій болѣе компактный чертежъ. Этотъ именно способъ и примѣненъ къ опредѣленію α, β, m, n, и Z для мѣдныхъ проводовъ ($d = 3$ mm. и $d = 5$ mm.) на фиг. 2.

Пользуясь изложеннымъ методомъ, мы приступимъ въ слѣдующей главѣ къ изслѣдованію распространенія электромагнитныхъ волнъ въ телефонныхъ линіяхъ.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Eléments de calcul graphique des lignes téléphoniques.

A. K. Kotièlenikoff.

Dans le présent article, mon but est d'indiquer, pour les lignes téléphoniques, des constructions graphiques pour déterminer des constantes a et Z dont l'une représente l'affaiblissement et la différence de phase, et l'autre l'impédance de la ligne.

La constante a est une imāginaire de la forme $\alpha + j\beta$, *où*

α — est un facteur d'affaiblissement,

β — est la constante de phase ou de longueur d'onde.

La constante Z est une imaginaire de la forme $m + jn$, *où*

m — est une résistance ohmique,

n — est une réactance (self ou capacité).

Pour construire les diagrammes il faut transformer des formules usuelles. Nous obtenons

$$\alpha = \sqrt{(\rho^2 + \omega^2\lambda^2)(\sigma^2 + \omega^2\gamma^2)}\ \mathrm{Cs}\ \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

$$\beta = \sqrt{(\rho^2 + \omega^2\lambda^2)(\sigma^2 + \omega^2\gamma^2)}\ \mathrm{Sn}\ \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} .$$

$$m = \frac{1}{2\alpha}\left(\rho + \sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2\ \mathrm{Cs}\ \theta_2}\right)$$

$$n = \frac{1}{2\alpha}\left(\omega\lambda - \sqrt{\rho^2 + {}^2\omega^2\lambda^2\ \mathrm{Sn}\ \theta^2}\right)$$

$$n = m\ \mathrm{tg}\ \varphi = m\ \mathrm{tg}\ \frac{\theta_1 - \theta_2}{2},$$

où

$$\theta_1 = arc\ \mathrm{tg}\ \frac{\omega\lambda}{\rho}$$

$$\theta_2 = arc\ \mathrm{tg}\ \frac{\omega\gamma}{\sigma}.$$

On voit les constructions graphiques de ces formules sur la figure 1.

Des mêmes consructions pour d = 5 mm et d = 3 mm on voit sur la figure 2; on emploie les constructions pour capacité optima, car la figure obtenue est plus compacte. Quant aux quantités α, β, m, n, et Z, elles sont les — mêmes, en exceptant $\beta^{I} = \frac{\beta^2}{\beta^{II}}$.

———

On verra dans l'article suivant l'application de cette méthode à la propagation du courant sur les lignes téléphoniques.

——

Матеріалы къ исторіи

Кіевскаго Политехническаго Института Императора Александра II.

Описаніе главнаго зданія
къ 1913 года.

Главное зданіе Кіевскаго Политехническаго Института представляетъ собой почти симметричный корпусъ относительно главнаго входа. Если представить планъ зданія вписаннымъ въ прямоугольникъ, то размѣры его получаться: длина около 110 сж., ширина 56 сж.

Въ средней части главное зданіе имѣетъ 3 этажа, въ крыльяхъ по 2 этажа. Въ постройкѣ примѣнена корридорная система, благодаря которой всѣ помѣщенія доступны. Достоинства проекта: простота плана, доступность помѣщеній и большое количество свѣта въ помѣщеніяхъ и корридорахъ.

Вмѣстѣ съ тѣмъ за 15 лѣтъ функціонированія Института выяснился цѣлый рядъ недостатковъ въ зданіяхъ, изъ которыхъ главнымъ слѣдуетъ признать неудачное расположеніе учебныхъ залъ въ средней части зданія. Окна въ этихъ залахъ обращены на сѣверъ, между тѣмъ корридоры залиты свѣтомъ съ южной стороны. Во-вторыхъ, высота аудиторій недостаточна; большинство ихъ безъ амфитеатровъ. Слѣдуетъ еще отмѣтить черезчуръ скромную отдѣлку внутреннихъ помѣщеній и фасада.

Занимаемая площадь главнаго зданія: . . . . 1947,41 сж.^{2}

Площадь помѣщеній во всѣхъ этажахъ и подвалѣ: . . . 4710,64 сж.^{2}

Объемъ зданія по внѣшнимъ очертаніямъ съ подвалами: . 14143,75 сж.^{2}

Интересно отмѣтить полную стоимость постройки главнаго зданія безъ оборудованія 1353612,07 руб., что составляетъ 95,70 руб. на 1 сж.^{3}. Стоимость оборудованія 178.725,16 руб., или 12,60 руб./сж.^{3}.

Въ главномъ зданіи размѣщены 3 отдѣленія Института: механическое, инженерное и агрономическое. Химическое отдѣленіе занимаетъ только двѣ чертежныя во 2-мъ этажѣ № 151 и № 176 общей площадью 76,74 сж.^{2}.

При такомъ обозначеніи кажется, что механическое отд. сравнительно съ другими занимаетъ большую площадь. На самомъ дѣлѣ въ цѣломъ рядѣ помѣщеній (лабораторій и кабинетовъ) занимаются также студенты другихъ отдѣленій. Исключительно механическому отд. принадлежатъ чертежныя, спеціальныя лабораторіи и кабинетъ декана, занимающіе общую пло-

щадь 333,04 сж²; между тѣмъ общая площадь всѣхъ помѣщеній, покрытых красной краской, равна 810,70 сж.², или 22,07% площади всѣхъ помѣщені главнаго зданія.

Переходимъ къ описанію аудиторій главнаго зданія. Количество их 13, общей площадью 349,07 сж.², или 9,5% по отношенію къ площад всѣхъ помѣщеній главнаго зданія. Изъ этихъ 13 аудиторій студенты меха ническаго отдѣленія слушаютъ лекціи только въ 8 аудиторіяхъ (считая физическую) площадью 280,32 сж.². Лучшая изъ всѣхъ аудиторій—физиче ская. Не говоря уже объ изяществѣ отдѣлки она отлично приспособлен для демонстраціи приборовъ и производства опытовъ во время лекцій. Под робное описаніе физической аудиторіи и лабораторіи было своевременн сдѣлано проф. Г. Г. Метцомъ въ отдѣльной брошюрѣ *).

Площадь физической аудиторіи 85,34 сж.²., наибольшая высота 6,3 сж. объемъ 447,36 сж.³, она разсчитана на 500 слушателей, такъ какъ, напр. физику слушаютъ студенты всѣхъ 4 отдѣленій Института. Особенность этой аудиторіи является верхнее освѣщеніе, дополняющее освѣщеніе от вертикальныхъ оконъ сѣверной стѣны. Отношеніе площади свѣта къ пло щади аудиторія—21%, т. е. меньше предѣла, установленнаго для освѣще нія школъ, но такъ какъ зданіе стоитъ на огромной возвышенной площад и въ окна падаетъ прямой свѣтъ, освѣщеніе внутри аудиторіи прекрасно Слѣдующее мѣсто занимаетъ электротехническая аудиторія во 2-мъ этаж по плану № 143; она такъ же, какъ и физическая, оборудована длинным лекціоннымъ столомъ, проекціоннымъ фонаремъ и экраномъ; мѣста для слу шателей расположены амфитеатромъ, площадь пола 17,05 сж.², при высот аудиторіи 2 саж. объемъ ея 34,1 сж,³; такимъ образомъ, принимая объем на каждаго слушателя 0,7 сж.³, аудиторія разсчитана на 48 мѣстъ, но ввид большого количества студентовъ, въ ней зачастую слушаетъ лекціи 90—100 человѣкъ. Остальныя 6 аудиторій представляютъ собой обыкновенны залы съ партами класснаго типа и простыми столами для лектора. Тольк одна изъ нихъ аудиторія VI въ третьемъ этажѣ (по плану № 217а) обору дована проекціоннымъ фонаремъ. Общая площадь шести аудиторій равн 177,93 сж.², объемъ около 360 сж.³, т. е. примѣрно на 500 слушателей что весьма мало, такъ какъ многія лекціи слушаются одновременно и сту дентами другихъ отдѣленій.

Чертежныхъ механическаго отдѣленія—восемь съ общей площадью пола 253,12 сж.².

Лабораторій механическаго отдѣленія въ главномъ зданіи четыре: фи зическая, электротехническая, сопротивленія матеріаловъ и металлографи ческая, занимающія общую площадь 223,14 сж.².

Большую роль въ главномъ зданіи играютъ широкіе свѣтлые корри-

---

*) „Описаніе сооруженія и оборудованія физической лабораторіи при Кіевском Политехническомъ Институтѣ Императора Александра II“ 1903 г.

доры, превратившіеся въ своего рода рекреаціонныя залы для студентовъ. Въ корридорахъ разставлены также матеріальные шкафы лабораторій и кабинетовъ, ввиду тѣсноты послѣднихъ. Общая длина корридоровъ въ трехъ этажахъ, не считая подвальнаго, 442 сж.; занимаемая ими площадь 738,14 сж^2.

Изъ научныхъ кружковъ и студенческихъ организацій въ главномъ зданіи имѣютъ помѣщеніе слѣдующіе кружки: механическій, инженерный, натуралистовъ и воздухоплавателей; организаціи: студенческая библіотека-читальня, библіотека учебниковъ и студенческая лавка, часть помѣщенія подъ актовымъ заломъ занята буфетомъ. Всѣ эти помѣщенія занимаютъ площадь 34,92 сж.^{2}.

Составивъ краткое описаніе главнаго зданія, приводимъ подробное распредѣленіе помѣщеній въ трехъ этажахъ его съ указаніемъ площадей половъ и периметровъ стѣнъ. Номера по порядку соотвѣтствуютъ нумераціи помѣщеній на планахъ.

Распредѣленіе помѣщеній главнаго зданія Кіевскаго Политехническаго Института Императора Александра II.

I-й этажъ.

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНІЕ ПОМѢЩЕНІЙ.	Площадь половъ въ сж.^{2}.	Периметръ стѣнъ сж.
1	Вестибюль	28,86	26,50
2	Аудиторія V	18,28	17,50
3	Кабинетъ Кинематическихъ моделей	9,80	14,30
4	Пріемная кабинета Декана Мех. отд.	5,59	10,52
5	Кабинетъ Декана Мех. отд.	12,93	14,40
6	Студенческая читальня	18,64	17,42
7	Каб. желѣзныхъ дорогъ	7,85	11,26
7а	„ мѣстныхъ путей сообщенія	8,49	12,76
7б	„ желѣзобетона	4,65	9,74
7в	„ санитарной техники	7,85	11,26
8	Пом. кружка натуралистовъ	6,70	10,60
9	Общій корридоръ	115,23	141,34
10	Лабораторія металлографическая	6,70	10,64
11	Каб. проф. технологіи метал.	8,03	11,40
11а	Чертежная Мех. отд. IV курса	21,21	21,74
12	Механическій кружокъ	18,76	17,58

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНІЕ ПОМѢЩЕНІЙ.	площадь половъ въ сж.²	Периметръ стѣнъ сж.
13	Секретаріатъ	12,64	14,24
13а	Тоже	5,85	10,60
14	Профессорская	9,80	14,30
15	Тоже	18,28	17,50
16	Корридоръ	26,64	35,20
17 17а	Бухгалтерія Тоже	16,65	16,66
18	Канцелярія	13,28	14,60
18а	Тоже	7,19	11,26
19	Передняя	7,07	12,22
20	Кабинетъ Директора	13,21	14,54
20а	Пріемная Директора	6,97	11,14
21	Контора смотрителя зданій	13,21	14,54
21а	Кабинетъ архитектора	6,97	14,14
22	Лѣстница при канцеляріи	6,13	16,68
23	Курилка	2,79	6,68
24	Уборная	2,79	6,68
25	Клѣтка парадной лѣстницы	12,86	15,69
26	Служительская комната	2,30	6,60
27 28	Шинельныя Мех., Химич. и С.-х. отдѣленій.	63,14	45,69
29	Шинельная Инж. отд.	5,18	10,20
30	Судомойная при буфетѣ	7,82	11,40
31	Черный ходъ	2,10	5,80
32	Лаб. мѣстн. пут. сообщенія	9,14	12,14
33	Тоже	2,55	6,40
33а	Уборная	1,35	4,80
34	Боковая лѣстница	0,75	4,00
36	Буфетъ	24,52	23,04
37	Корридоръ при Геологическ. каб. и лабораторія	26,64	35,24
38	Препараторская	4,13	8,46
39	Каб. профессора	8,99	12,08
40	Минералогическій музей	25,99	20,36

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНІЕ ПОМѢЩЕНІЙ.	Площадь половъ въ сж.².	Периметръ стѣнъ сж.
41	Геологическій музей	20,55	18,58
42	Аудиторія XI	12,48	14,14
2а	Препараторская	6,72	11,00
43	Боковая лѣстница	6,11	10,68
44	Кабинетъ начертательной геометріи	2,79	6,68
45	Тоже	2,79	6,68
46	Корридоръ и помѣщ. С.-х. отд.	15,46	25,98
47	Бактеріологическая лабораторія	4,26	8,60
48	Тоже	2,19	8,04
49	Тоже	3,68	8,18
50	Лѣстничная клѣтка	3,98	8,12
51	Лаборат. системат. растеній	12,10	14,30
52	Ботаническая лабораторія	16,52	17,54
53	Проходъ	1,08	4,20
54	Комната лаборанта	1,93	5,62
55	Комната для занятій по физіологіи растеній .	8,41	11,62
56	Аудиторія ботаническая	17,83	17,00
57	Препараторская	5,60	9,72
58	Тоже	2,62	6,64
59	Фотографическая комната	1,03	4,18
60	Прихожая	2,26	7,94
61	Лекціонная библіотека	11,42	13,60
62	Помѣщеніе	1,38	5,04
63	Коммутаторъ телефонный	1,58	5,04
64	Библіотека при зоол. кабин.	3,40	6,80
67	Зоологическій кабинетъ	11,38	15,16
68	Кабинетъ лаборанта	3,44	7,50
69	Кабинетъ профессора	5,75	9,68
70	Проходъ	2,23	9,04
71	Прихожая	1,50	5,30
72	Препараторская	3,72	6,70
73	Лабораторія	17,08	19,90
74	Музей	17,08	17,90

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНІЕ ПОМѢЩЕНІЙ.	Площадь половъ въ сж.².	Периметръ стѣнъ сж.
75	Корридоръ С.-х. отд.	34,32	34,64
76	Лѣстничная клѣтка	5,44	10,88
77	Кабинетъ физіолог. животныхъ	16,96	16,56
78	—	5,72	10,52
79	Аудиторія с. х.	17,89	16,52
80	Лѣстничная клѣтка	5,44	10,88
81	Уборная	1,57	5,02
82	Лѣстничная клѣтка	1,57	5,02
83	Втор. залъ агроном. лабораторіи	19,36	19,10
84	Препараторская	4,56	8,96
85	Лѣстничная клѣтка	4,16	9,00
86	Лабораторія	7,88	11,24
87	Кабинетъ профессора	8,73	11,82
88	Корридоръ и два помѣщенія С.-х. отд.	29.44	47,24
89	Кабинетъ коллекцій	16,73	17,32
90	Вѣсовая комната	4,28	8,79
91	Первый залъ агроном. лабораторіи	36,01	27,01
92	Кабинетъ профессора и библіотека	12,83	14,64
92a	Тоже		
93	Кабинетъ лаборанта	7,65	11,06
94	Каб. теоретической мех.	4,12	8,50
95	Лабораторія сопротивленія матер.	19,62	17,72
95a	Тоже	32,95	26, 8
96	Комната лаборанта	1,88	5,50
97	Мастерская	10,79	10,60
98	Корридоръ	29,51	48,00
99	Лѣстниничная клѣтка	9.77	8,67
100	Кладовая	1,83	5,42
101	Металлографическая лабораторія	3,89	8,36
101a	Тоже	2,15	6, 7
102	Лѣстница на башню	3,40	6,80
103	Комната кружка воздухопл.	1,30	4,74
104	Лабораторія точныхъ измѣреній	22,88	22,14

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНІЕ ПОМѢЩЕНІЙ.	Площадь половъ въ сж.².	Периметръ стѣнъ сж.
105	Кабинетъ профессора	7,92	11,26
106	Библіотека	9,16	12,16
107	Препараторская	8,63	11,78
108	Физическій кабинетъ	34,49	24,46
109	Кладовая	1,83	5,42
110	Лѣстниничная клѣтка	3,77	8,07
111	Корридоръ	14,28	25,32
112	Уборная	1,58	5,04
115	Кабинетъ	3,81	8,46
113	Курилка	1,44	4,80
114	Корридоръ	1,57	5,02
116	Лабораторія	5,42	9,48
116а	Оптическая лабораторія	5,40	9,46
117	Вѣсовая	5,46	9,52
118	Лѣстниничная клѣтка	3,87	8,92
119	Корридоръ	20,00	32,94
120	Лабораторія	23,42	19,56
121	Лабораторія	16,55	17,16
122	Темная комната	4,88	9,46
122а	Тоже	3,54	7,70
124	Лабораторія	20,06	17,52
125	Вестибюль	20,41	18,24
130	Аудиторія	43,84	28,46

2-ой этажъ главнаго зданія.

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНІЕ ПОМѢЩЕНІЙ.	Площадь половъ въ сж.².	Периметръ стѣнъ сж.
131	Электротехническая лабораторія	17,51	16,74
131а	Мастерская	6,28	11,38
132	Корридоръ	·19,99	32,24
133	Электротехническая лабораторія	23,90	22,18
133а	Тоже	3,23	7,52
134	Электротехническая лабораторія	19,61	17,72
134а	Тоже	1,75	5,30
135	Тоже	8,29	11,52
135а	Кабинетъ профессора	1,89	5,50
136	Фотометрическая	3,87	7,50
136а	Электротехническая лабораторія	4,74	9,28
136б	Прихожая	1,62	5,28
137	Уборная	1,45	3,84
138	Кладовая	1,54	5,00
139	Корридоръ	2,64	6,64
140	Тоже	15,57	26,24
141	Физическая аудиторія	85,34	37,00
142	Электротехническая лабораторія	20,82	19,26
142а	Прихожая	3,93	8,62
142б	Библіотека	4,35	8,80
142в	Препараторская.	4,35	8,80
142г	Кабинетъ профессора	3,00	7,00
142д	Комната лаборанта	3,00	7,00
142е	Корридоръ	2,10	7,40
143	Электротехниическая аудиторія	17,05	17,90
144	Каб. подвижного состава и тяги	22,88	26,14
145	Аудиторія VIII	9,62	12,50
146	Служительская библіотека	1,30	4,74
146а	Студенческая библіотека учебниковъ	5,70	10,36
147	Корридоръ	27,96	23.40
148	Дамская уборная	1,86	5,46

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНІЕ ПОМѢЩЕНІЙ.	Площадь половъ въ сж.².	Периметръ стѣнъ сж
149	Кладовая	1,83	5,72
150	Аудиторія III	29,66	17,74
151	Химическая чертежная	36,90	27,18
152	Аудиторія IV	11,82	19,70
154	Корридоръ	19,66	32,44
155	Корридоръ	115,23	142,34
156	Кабинетъ архитекторовъ	8,04	11,40
157	Чертежная 3 курса мех. отд.	29,65	28,28
158	Тоже	38,40	23,88
159	Фундаментальная библіотека	87,54	104,98
160	Чертежная II кур. инж. отд.	38,40	23,88
161	Тоже	29,55	28,28
162	Кабинетъ профессора	5,57	10,66
163	Курилка	2,78	6,68
164	Уборная	2,77	6,56
165	Чертежная II курса мех. отд.	20,55	18,54
166	Тоже	20,92	18,58
167	Тоже	40,00	26,00
168	Корридоръ	26,63	35,14
169	Корридоръ	5,50	12,00
170	Часть актоваго зала подъ хорами	12,97	15,66
171	Лѣстничная клѣтка	2,25	6,00
172	Архивъ	4,65	9,20
173	Актовый залъ	100,79	40,56
174	Чертежная хим. отд.	39,84	25,96
175	Кабинетъ и канцелярія Декана инж. отд.	20,62	18,58
175a	Тоже		
176	Аудиторія II	20,55	18,54
177	Курилка	2,78	6,68
178	Уборная	2,78	6,68
179	Корридоръ	20,63	35,14
180	Чертежная III курса инж. отд.	65,08	30,06
181	Кабинетъ Гидротехники	8,22	11,48

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНІЕ ПОМѢЩЕНІЙ.	Площадь половъ въ сж.².	Периметръ стѣнъ сж.
181а	Комната Инж. кружка	3,78	8,24
182	Геодезическій кабинетъ	16,52	17,54
183	Кабиметъ профессора геодезіи.	12,10	14,30
183а	Геодезическій кабинетъ		
184	Общая комната геодезіи	7,70	11,10
184а	Каб Графостатики	2,55	6,40
185	Корридоръ	14,89	25,60
186	Уборная	1,62	5,10
187	Кладовая	1,58	5,04
188	Кабинетъ профессора метеорологіи	4,00	10,00
189	Метереологическій кабинетъ	10,10	13,88
190	Лабораторія „	12,70	14,72
190а	Кабинетъ лаборанта „	4,42	8,72
191	Кабинетъ Ветеринаріи	8,28	11,52
191а	Кабинетъ Статистики	8,28	11,52
192	Музей Общаго земледѣлія	8,28	11,52
192а	Кабинетъ Политической экономіи	8,28	11,52
193	Корридоръ	34,32	52,64
194	Корридоръ	30,55	47,34
195	Каб. профессора Общей зоотехн.	12,83	14.64
196	Лабораторія „ „	36,01	27,00
197	Вѣсовая „ „	4,27	8,76
198	Каб. коллекцій „ „	16,73	31,18
199	Каб. коллекцій частной зоотехн.	8,73	11,82
200	Каб. профессора „ „	7,88	11,38
201	Каб. лаборанта „ „	4,64	9,02
202	Лабораторія „ „	19,27	19,18
203	Лѣстничная клѣтка	1,87	5,02
204	Уборная	1,69	5,55
205	Аудиторія	23,25	19,90
206	Кабинетъ с.-х. машинъ и орудій	5,39	10,34
206а	Каб. Декана с.-х. отд.	8,43	11,64

III-й этажъ главнаго зданія Института.

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНІЕ ПОМѢЩЕНІЙ.	Площадь половъ въ сж.².	Периметръ стѣнъ сж.
207	Чертежная I-го курса мех. отд.	40,00	26,00
208	Корридоръ	26,64	35,24
209	Чертежная I-го курса мех. отд.	42,39	30,44
210	Курилка	2,79	6,68
211	Уборная	2,75	6,64
212	Корридоръ	65,04	81,24
213	Комната Зав. каб. Механич. моделей	6,31	10,90
214	Помѣщенія кабинета механическихъ моделей .	5,86	10,66
215		25,48	21,04
216		9,80	14,30
217	Аудиторія I	41,89	26,34
217a	Аудиторія VI	22,82	19,24
218	Кабинетъ моделей инж. отд.	19,35	17,90
219	Рисовальный залъ	38,40	27,88
220	Хоры	12,86	15,61
221	Актовый залъ	100,34	40,44
222	Корридоръ	26,64	35,24
223	Студенческая лавка	2,77	6,66
224	Тоже	2,79	6,68
225	Чертежная I-го курса Инж. отд.	42,39	30,44
226	Тоже	40,00	26,00

ПРИЛОЖЕНІЕ.

Списокъ необходимыхъ исправленій на планахъ главнаго зданія Кіевскаго Политехническаго Института.

I этажъ.

1) Затушевать разрѣзы и указать оконныя отверствія въ башняхъ для засасыванія воздуха для вентиляціи.

2) Въ корридорѣ при канцеляріи поставить № 19 вмѣсто № 17 и передвинуть простѣнокъ къ окну.

3) Отдѣлить пріемную Директора и поставить № 20а.

4) Отдѣлить кабинетъ Архитектора и поставить № 21а.

5) Отдѣлить простѣнкомъ одно очно въ уборной № 24.

6) Указать № 26, добавить стѣнки и двери.

7) Указать въ буфетѣ стѣнки и двери.

8) Передвинуть стѣнку при геологической лабораторіи № 37.

9) Проставить №№ 42а, 76, 96, 97, 109, 110, 112 и 118.

10) Вмѣсто № 113а поставить № 113.
„ № 113 „ № 115.

II этажъ.

1) Въ физической аудиторіи нанести входныя лѣстницы.

2) Въ № 137 показать фотографическую комнату.

3) Въ № 144 отдѣлить простѣнкомъ помѣщеніе № 144а.

4) Вмѣсто № 151а поставить № 152,
„ № 156а „ № 157,
„ № 176 „ № 174,
„ № 176а „ № 176,

5) Поставить №№ 191а, 192а, 204, 131а, 134а, 140, 170, 171, 172 и 173.

6) Въ № 158 и № 160 прибавить простѣнки.

7) Проставить № 173 и тамъ же указать двери.

8) Въ № 194 прибавить два простѣнка.

9) Отдѣлить простѣнкомъ помѣщеніе № 206а.

III этажъ.

1) Проставить № 213 и № 224.

2) Вмѣсто № 189а поставить № 190а,
„ № 213 „ № 215,
„ № 209 „ № 208 (корридоръ).

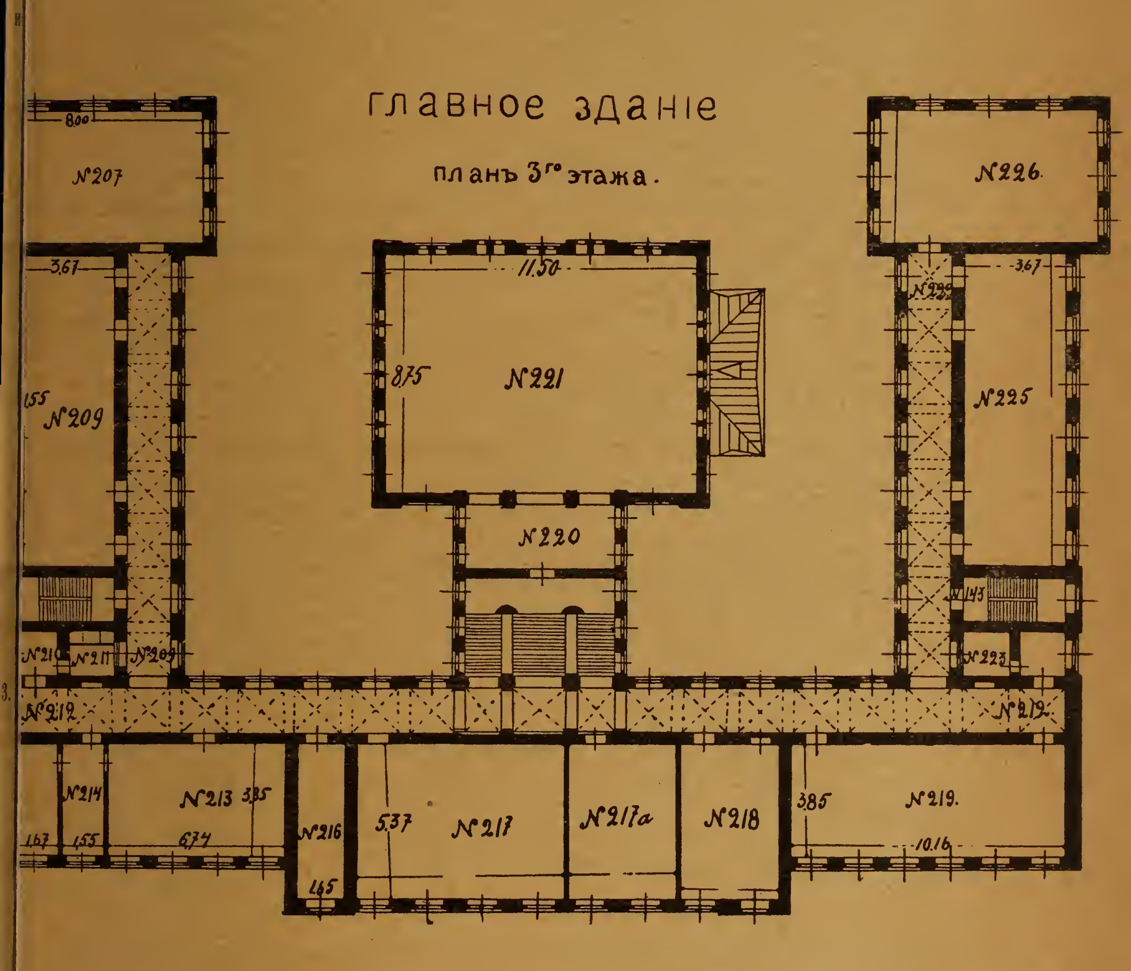
3) Въ № 212 въ правомъ концѣ указать простѣнокъ.

4) Въ № 219 указать простѣнки.

5) Въ № 216 указать боковыя двери.

Примѣчаніе. Въ списокъ исправленій не вошли всѣ передѣлки со времени устройства въ главномъ зданіи лазарета.

Инж.-техн. **М. А. Пенчальскій.**


главное зданіе
планъ 3^го этажа.
№207
8.00
3.67
№209
1.55
№210
№211
№209
№212
№214
№213
3.35
1.67
1.55
6.74
№216
1.45
№217
5.37
№217a
№218
№219.
3.85
10.16
№219.
№220
№221
11.50
8.75
№226.
№225
3.67
№222
№223
1.43

Окончившіе курсъ Механическаго отдѣленія.

(Результаты анкеты).

Число выпусковъ и окончившихъ. Характеристика окончившихъ по роду предествующаго образованія, по продолжительности ученія, по возрасту. Распредѣленіе окончивщихъ по районамъ дѣятельности. Продолжительность поисковъ занятія. Характеристика окончившихъ по роду дѣятельности. Заработокъ въ зависимости отъ продолжительности службы и рода занятія. Опросный листъ и анкета 1913 г. Проектъ опроснаго листа.

До 1 января 1913 года на механическомъ отдѣленіи К. П. И. было всего 24 выпуска, давшихъ въ общей сложности 549 человѣкъ окончившихъ. Такимъ образомъ на каждый выпускъ приходится въ среднемъ около 23 человѣкъ. Въ дѣйствительности численность выпусковъ сильно колеблется въ ту и другую сторону отъ средней величины. Наименьшіе выпуски—4 человѣка—имѣемъ въ январѣ 1903 года и въ сентябрѣ 1906, наибольшій—45 человѣкъ—въ сентябрѣ 1911 г.

Число окончившихъ по годамъ и выпускамъ видно изъ таблицы I.

ТАБЛИЦА I. Распредѣленіе окончившихъ по годамъ и выпускамъ.

Годъ.	Число выпусковъ.	Число выпущ. за годъ.	Численность выпусковъ въ				
			январѣ.	февралѣ.	маѣ.	сент.	декабрѣ.
1903	2	10	4	—	6	—	—
1904	1	29	—	—	29	—	—
1906	2	34	-	—	30	4	—
1907	3	63	7	—	33	23	-
1908	3	52	10	—	28	14	—
1909	3	78	35	--	31	12	—
1910	3	71	—	25	29	17	—
1911	3	103	21	—	37	45	—
1912	4	109	30	—	33	11	35
Всего. .	24	549	107	25	256	126	35

Такимъ образомъ на зимніе выпуски приходится всего 167 человѣкъ, или 30,4% общаго числа окончившихъ, а на май—сентябрь 382 человѣка, или 69,6%.

Изъ 549 окончившихъ 128 лицъ (23,3%) поступило въ Ин-тъ изъ другихъ высшихъ учебныхъ заведеній: 12 человѣкъ имѣетъ заграничные дипломы, 13—поступило изъ университетовъ, 103—перевелось изъ другихъ учебныхъ заведеній (напр., Варшавскаго политехникума). Остальные 421 человѣкъ—со среднимъ образованіемъ. Для характеристики этой наиболѣе многочисленной группы составлена таблица II.

ТАБЛИЦА II. Окончившіе съ предварительнымъ среднимъ образованіемъ.

Изъ реальныхъ училищъ	226	чел.	41,17%
„ классическихъ гимназій	145	„	26,41 „
„ коммерческихъ училищъ	19	„	3,46
„ кадетскихъ копусовъ	12	„	2,19 „
„ учительскихъ ин-овъ	8	„	1,46 „
„ техническихъ училищъ	5	„	0,91 „
„ духовныхъ семинарій	5	„	0,91 „
„ морского инжен. учил	1	„	0,18 „
	421	„	76,69 „

Чтобы выяснить вопросъ, во сколько времени фактически проходилс курсъ наукъ на механическомъ отдѣленіи, мы выключили изъ разсмотрѣні всѣхъ лицъ, поступившихъ на второй и высшіе курсы, какъ находящихс въ болѣе выгодныхъ условіяхъ сравнительно съ поступившими на первы курсъ. Для лицъ послѣдней категоріи составлена

ТАБЛИЦА III. Продолжительность пребыванія поступившихъ на первый курсъ.

8	семетровъ	пребывало	9	чел.,	или	2,59%
9	„	„	13	„	„	3,75 „
10	„	„	40	„	„	11,53 „
11	„	„	15	„	„	4,32 „
12	„	„	64	„	„	18,44 „
13	„	„	20	„	„	5,76 „
14	„	„	58	„	„	16,72 „
15	„	„	26	„	„	7,49 „
16	„	„	38	„	„	10,95 „
17	„	„	17	„	„	4,90 „
18	„	„	12	„	„	3,46 „
19	„	„	8	„	„	2,31 „
20	„	„	12	„	„	3,46 „
21	„	„	3	„	„	0,86 „
22	„	„	4	„	„	1,15 „
болѣе 22	„	„	8	„	„	2,31 „
			347	„	„	100,00 „

Студентовъ $\times$ семестровъ = 4835. Дѣля это число на 347, получаемъ среднюю продолжительность пребыванія студента въ Ин-тѣ = **13,9** сем.

Почти 70% студентовъ кончаетъ Механическое отдѣленіе въ 25—29 лѣтъ отъ роду. На болѣе молодой возрастъ приходится около 10% кон-

ающихъ. Лица, старше 29 лѣтъ, составляютъ 20%. Болѣе точныя и подобныя данныя содержитъ приводимая ниже таблица.

ТАБЛИЦА IY. Возрастъ окончившихъ.

22	года	окончило	5	челов.,	0,91 %
23	"	"	12	"	2,19 "
24	"	"	41	"	7,47 "
25	"	"	**53**	"	*9,65* "
26	"	"	**83**	"	**15,12** "
27	"	"	**98**	"	**17,85** "
28	"	"	**86**	"	**15,67** "
29	"	"	**60**	"	**10,93** "
30	"	"	37	"	6,74 "
31	"	"	20	"	3,64 "
32	"	"	26	"	4,74 "
33	"	"	8	"	1,46 "
34	"	"	6	"	1,09 "
35	"	"	4	"	0,73 "
36	"	"	2	"	0,36 "
37	"	"	2	"	0,36 "
38	"	"	3	"	0,55 "
39	"	"	2	"	0,36 "
40	"	"	1	"	0,18 "
			549	"	100,00 "

Въ таблицѣ V даны по выпускамъ: возрастъ окончившихъ и средняя родолжительность пребыванія ихъ въ Ин-тѣ.

ТАБЛИЦА V. Возрастъ и продолжительность пребыванія по годамъ выпусковъ.

Годъ.	Число окончившихъ.	Средняя продолжительность пребыванія въ сем.	Среднiй возрастъ.
1903	10	10,0	25,80
1904	28	11,2	26,17
1906	34	13,5	25,94
1907	63	15,1	26,82
1908	52	15,1	27,98
1909	81	15,3	28,20
1910	71	14,2	28,17
1911	103	13,5	27,83
1912	107	14,5	28,17

Свѣдѣнія о мѣстопребываніи окончившихъ удалось собрать относи тельно 380 лицъ, что составляетъ 69,22$^0/_0$ общаго числа окончившихъ.

ТАБЛИЦА VI. Распредѣленіе 380 окончившихъ по районамъ Россійской Имперіи.

1. **Юго-Западный** (Кіевская—114, Подольская—5, Черниговская—4, Полтавская—3, Волынская—2)	**140** чел.	33,68$^0/_0$ отъ 380	(23,32$^0/_0$ отъ 540)
2. **Московскій и примосковскій** (Московская—44, Орловская—9, Курская—3, Рязанская—2, Тульская—2, Калужская—2, Тверская—1, Владимірская—1)	**64** чел.	16,84$^0/_0$	(11,66$^0/_0$)
3. **Южный** (Херсонская — 23, Екатеринославская—23, Харьковская—7, Обл. В. Донского—4, Таврическая—2, Бессарабская—1)	**60** „	15,79 „	(10,92 „)
4. **Царство Польское** (Варшавская—31, Петроковская—16, Ломжинская—1, Плоцкая—1)	**49** „	12,89 „	(8,93 „)
5. **Сѣверный и Петроградскій** (Петроград.—27, Ярославская—1, Костромская—1, Вятская—1)	**30** „	7,90 „	(5,46 „)
6. **Сибирскій и Закавказскій**	**20** „	5,26 „	(3,64 „)
7. **Юго-Восточный** (Самарская—4, Саратовская—5)	**9** „	2,37 „	(1,64 „
8. **Сѣверо-Западный и Прибалтійскій** (Лифл.—2, Курл.—1, Ковенская—1, Витебская—1, Гродненская—1, Могилевская—1, Минская—1)	**8** „	2,11 „	(1,46 „
9. **Уралъ и Пріуралье** (Оренбургская—4, Пермская—1)	**5** „	1,32 „	(0,91 „)
10. **За-границей**	**3** „	0,79 „	(0,55 „)
11. **Умерло**	**4** „	1,05 „	(0,73 „)
	380 „	100 „	(69,22 „)

Большинство кончившихъ инженеровъ-технологовъ живетъ въ круп ныхъ городахъ. Изъ 380 лицъ, по имѣющимся свѣдѣніямъ, живетъ:

		$^0/_0$ отъ 380		$^0/_0$ отъ 54
въ Кіевѣ	99 челов.	26,05	или	18,03
„ Москвѣ	40 „	10,53	„	7,29
„ Варшавѣ	30 „	7,90	„	5,46
„ Петроградѣ	26 „	6,84	„	7,74
„ Одессѣ	12 „	3,16	„	2,19
„ Екатеринославѣ	10 „	2,63	„	1,82
„ Лодзи	9 „	2,37	„	1,64
„ Николаевѣ	7 „	1,84	„	1,27
	233 „	61,32	„	42,44

На долю провинціи остается 380—233=147 человѣкъ, что составляетъ 3,68$^0/_0$ отъ 380 или 26,78$^0/_0$ числа всѣхъ окончившихъ.

Число лицъ кончившихъ, но относительно которыхъ не имѣется свѣдѣній, равно 549—380=169, или 30,78$^0/_0$.

Чтобы выяснить общественное и матеріальное положеніе кончившихъ механическое отдѣленіе К. П. И., тѣмъ изъ нихъ, адреса которыхъ были точно извѣстны, весною 1913 года были разосланы опросные листки, всего по 329 адресамъ. Часть писемъ (около 65) вернулась обратно за нерозыскомъ адресатовъ. На остальныя, дошедшія по назначенію, отозвалось 111 человѣкъ.

Изъ этихъ 111 лицъ около 30$^0/_0$ (33 чел.) живетъ въ Кіевѣ и Кіевской губерніи. Затѣмъ идутъ: Мостовская—11, Херсонская—7, Екатеринославская—7, Петроградская—6, Варшавская—6, Орловская—5. На прочія губерніи и области Россійской Имперіи приходится на каждую въ отдѣльности не болѣе 2, а всего вмѣстѣ 35 чел. Одинъ изъ участниковъ анкеты живетъ и работаетъ за границей.

По времени окончанія Ин-та 111 учстиковъ анкеты раздѣляются слѣдующимъ образомъ:

въ	1903	году	окончило	4 чел.,	3,6$^0/_0$.
„	1904	„	„	10 „	9,0 „
„	1906	„	„	7 „	6,3 „
„	1907	„	„	11 „	10,0 „
„	1908	„	„	8 „	7,2 „
„	1909	„	„	15 „	13,5 „
„	1910	„	„	10 „	9,0 „
„	1911	„	„	15 „	13,5 „
„	**1912**	„	„	**31** „	**27,9** „
				111 „	100 „

Такимъ образомъ, наибольшее количество отвѣтовъ дали технологи мѣстные и недавно кончившіе.

Тѣмъ не менѣе анкета выясняетъ цѣлый рядъ вопросовъ, касающихся положенія бывшихъ воспитанниковъ механическаго отдѣленія Ин-та.

Сколько времени инженеръ-технологъ, окончивъ свое техническое образованіе, тратитъ на отысканіе себѣ соотвѣтствующаго занятія? Для выясненія этого, въ опросной листъ былъ включенъ вопросъ о времени поступленія на службу.

13 человѣкъ (11,71$^0/_0$) изъ 111 по данному вопросу или ничего не сообщаютъ или даютъ слишкомъ неопредѣленныя указанія или не могутъ по разнымъ причинамъ ничего сообщить. Въ эту же категорію необходимо включить 11 лицъ (9,90$^0/_0$), которыя сообщаютъ данныя о вступленіи на послѣднюю должность, не имѣющія для разсматриваемаго вопроса, очевидно, никакого значенія.

Изъ остальныхъ четверо ($3,60^0/_0$) имѣли занятіе еще до окончанi Ин-та. Сравнительно незначительное количество (9 изъ 111 или $8,11^0/_0$ получило мѣсто сейчасъ же послѣ окончанія. Положеніе большинства характеризуютъ слѣдующія цифры:

64 человѣка ($57,66^0/_0$) поступило на службу въ томъ же году, в которомъ кончали;

5 человѣкъ ($4,51^0/_0$) оставалось безъ мѣста около 1 года (предѣлы 4 мѣс. и 19 мѣс.);

и, наконецъ, 5 или $4,51^0/_0$ отыскало себѣ занятіе въ теченіи 2-го год послѣ окончанія.

Изъ этихъ данныхъ слѣдуетъ, что по крайней мѣрѣ $75^0/_0$ всѣхъ опрошенныхъ лицъ устроилось въ теченіи года по окончаніи Ин-та. Остановимся на этой категоріи подробнѣе и выдѣлимъ изъ нея тѣхъ, которы сообщаютъ не только годъ поступленія на службу, но еще, по крайне мѣрѣ, мѣсяцъ. Изъ этихъ лицъ оставалось безъ занятія:

21	или	$18,92^0/_0$	въ средн.	($1,97 \pm 0,19$)	мѣс.;	пред.:	0–3 мѣс.
18	„	16,22 „	„ „	($4,15 \pm 0,28$)	„	„	3–6 „
7	„	6,31 „	„ „	($7,17 \pm 0,14$)	„	„	6–9 „
4	„	3,60 „	„ „	($11,00 \pm 0,25$)	„	„	9–12 „
50	„	45,05 „	„ „	($4,21 \pm 0,26$)	„	„	0–12 „

ТАБЛИЦА VII. Родъ дѣятельности 111 участниковъ анкеты.

1. **Механико-техническія предпріятія** . . . . 36 чел. ($32,43^0/_0$)
   а) Машиностроеніе: паровыя машины, локомобили, паровозы, дизеля, с.-хоз. маш., маш. для сах. зав., насосы, подъемныя машины . . . . 14 чел.
   б) Желѣзныя дороги . . . . 12 „
   в) Электротехника . . . . . 2 „
   г) Механич. мастерскія . . . 2 „
   д) Холодильное дѣло . . . . 2 „
   е) Котлонадзоръ . . . . 2 „
   ж) Судо- и вагоностроеніе . . 2 „
2. **Коммерческія и техно-коммерческія предпріятія** 36 чел. ($32,43^0/_0$)
   а) Собственники и совладѣльцы техническихъ конторъ, завѣдующіе техническими конторами и отдѣл. фирмъ, представители . . . 33 чел.
   б) Страховое дѣло . . . . . . 2 „
   в) Таможенный экспертъ . . 1 „

3. **Лабораторная и преподавательская дѣятель-**
ість въ высшихъ учебныхъ заведеніяхъ (9 чел.)
реподаваніе въ среднихъ и низшихъ (4 чел.) . . 13 „ (11,71 „).
4. **Общественныя предпріятія** (Инженеры, за-
вѣдующіе городскимъ водопроводомъ и канализа-
ей, электр. станціями, отопленіемъ и вентиля-
ей городскихъ зданій, служащіе въ земствѣ) . 9 „ (8,11 „).
4. **Строители** (постройка жилыхъ домовъ,
тройство вентиляціи и отопленія, составленіе
тѣтъ и плановъ) . . . . 6 „ (5,41 „).
6. **Директора (или вицедиректора) сахарныхъ**
водовъ . . . . 4 „ (3,61 „).
7. **Химико-технологическая дѣятельность** (ме-
аллургическіе заводы) . . . . 2 „ (1,80 „).
8. **Фабричные инспектора** . . . . 2 „ (0,80 „).
9. **Редактированіемъ техническаго журнала** и
ехническимъ обученіемъ занятъ . . . . 1 „ (0,90 „).
10. **Нигдѣ не занятыхъ** *) . . . . 2 „ (1,80 „).
111 „ (100 „)

Многіе изъ участниковъ анкеты, кромѣ основного занятія, имѣютъ ополнительный заработокъ. Напр., изъ 36 лицъ механико-технической руппы 6 человѣкъ совмѣщаютъ свое занятіе съ преподаваніемъ въ сред-ихъ учебныхъ заведеніяхъ, въ среднихъ и низшихъ техническихъ школахъ, ечернихъ курсахъ и т. д.; двое сотрудничаютъ въ холодильныхъ журна-ахъ, 1—строитъ дома, 1—имѣетъ представительство. Изъ 36 лицъ, заня-ыхъ въ коммерческихъ и техно-коммерческихъ предпріятіяхъ, трое прини-аютъ участіе въ техническихъ журналахъ, 1—занятъ преподаваніемъ, —служилъ раньше въ земствѣ. Вообще, изъ всѣхъ 111 участниковъ ан-еты имѣютъ въ той или другой мѣрѣ отношеніе

къ педагогикѣ . . . . 24 чел.
„ литературѣ . . . . 7 „

Для анкеты, поставившей себѣ цѣлью выясненіе положенія бывшихъ итомцевъ механическаго отдѣленія Ин-та, важно было узнать не только о, чѣмъ они въ данный моментъ заняты, на какомъ поприщѣ они слу-атъ обществу, и государству но и размѣръ заработка,—того эквивалента, оторый они за свою службу отъ нихъ получаютъ.

Высоту заработка участниковъ анкеты характеризуетъ

---

*) Одинъ поступилъ въ другое высшее учебное заведеніе, другой отбываетъ оинскую повинность.

ТАБЛИЦА VIII. Годовой заработокъ окончившихъ.

10000 и болѣе	получаетъ	1	человѣкъ—	0,90%
5000—10000	„	10	„	9,01 „
4000— 5000	„	9	„	8,11 „
3000— 4000	„	11	„	9,91 „
2000— 3000	„	**28**	„	**25,22** „
1500 – 2000	„	**16**	„	**14,41** „
1000— 1500	„	**19**	„	**17,12** „
менѣе 1000	„	6		5,41 „
неопредѣленно	„	11	„	9,91 „
		111	„	100 „

Слѣдовательно, только 27,9% зарабатываютъ 3000 и болѣе рублей, а 56,75% получаютъ отъ 1000 до 3000 рублей.

ТАБЛИЦА IX. Заработокъ окончившихъ по выпускамъ.

Выпуска	1903 г.,	средн. зар.	4	чел.	4580 р.,	пред.	2300— 6000 р.
„	1904 „	„	7	„	4020 „	„	2500— 6000 „
„	1906 „	„	5	„	3470 „	„	1500— 5600 „
„	1907 „	„	11	„	3950 (3270*) „	„	1800—10800 „
„	1908 „	„	7	„	3360 „	„	1500 – 6000 „
„	1909 „	„	14	„	2850 „	„	960— 5000 „
„	1910 „	„	9	„	2530 „	„	1300— 4000 „
„	1911 „	„	15	„	1820	„	900— 3300 „
„	1912 „	„	28	„	1350 „	„	600 – 2700 „

Эти цифры показываютъ возрастаніе средняго заработка въ зависимости отъ продолжительности службы, но независимо отъ профессіи.

Для выясненія зависимости заработка отъ рода занятія составлена таблица X.

ТАБЛИЦА X. Среднiй заработокъ по профессіямъ.

6 чел.: фабричные инспектора и директора сах. заводовъ .	по 3260 р.,	пред.	1500—6000 р.
9 „ занятыхъ въ общественныхъ предпріятіяхъ	„ 2980 „	„	1200—6000 „
9 „ занятыхъ въ мех. и техн. предпр. (кромѣ машиностр. и ж. д.)	„ 2900 „	„	2000—5440 „

*) Число въ скобкахъ получено, исключая одно лицо, заработокъ котораго въ 10800 руб. является исключительнымъ.

0	„	занятыхъ въ коммерч. и техно-коммерч. предпр. . .	по	3030 (2760 р. *)	пред.	600—10800	„
2	„	занятыхъ на ж. д.	„	2630 (2420 „ **)	„	960— 5000	„
3	„	„ педагогикой . .	„	2160 р.,	„	960— 4100	„
3	„	„ машиностроеніемъ	„	2040 „	„	900— 4800	„
5	„	„ строительствомъ .	„	1680 „	„	1000— 2500	„

Средній заработокъ инженеръ-технолога, окончившаго механическое тдѣленіе К. П. Ин-та, независимо отъ рода занятія и продолжительности лужбы, равняется **2620** руб.

Относительно заработка 11 лицъ не имѣется данныхъ. Двое ничего е зарабатываютъ: одинъ отбываетъ воинскую повинность, другой поступилъ въ одно высшее учебное заведеніе. Двое затрудняются опредѣлить—аже приблизительно—размѣръ своего заработка. Изъ нихъ одинъ, самотоятельно устраивающій центральное отопленіе и вентиляцію, сушилки, ани и прачешныя, говоритъ, что зарабатываетъ „совершенно неопредѣенно, отъ 0 до 100 руб. въ мѣс.“. Другой, собственникъ строительной онторы, заявляетъ: „Довольно крупный заработокъ. Колеблется“. Остальые 7 человѣкъ, владѣльцы собственныхъ фабрикъ и техническихъ коноръ, совладѣльцы и завѣдующіе техническихъ конторъ, обходятъ совериеннымъ молчаніемъ этотъ, можетъ быть, щекотливый для нихъ вопросъ.)динъ изъ нихъ, завѣдующій отдѣломъ машиностроительнаго завода и отѣтственный за коммерческое и административное веденіе дѣла, мотивиуетъ свое воздержаніе отъ отвѣта на вопросы о заработкѣ тѣмъ, что наодитъ ихъ „несоотвѣтствующими настоящей анкетѣ“.

Здѣсь не льзя неупомянуть о рядѣ лицъ, давшихъ по разсматриваемому опросу чрезвычайно подробныя свѣдѣнія. Эти лица ,съ похвальной обстоятельностью нарисовали полную картину измѣненія своего заработка со ременемъ.

Анкета цѣнна еще тѣми впечатлѣніями, которыми дѣлятся нѣкоторые изъ ея участниковъ. Заводовъ, имѣющихъ свои лабораторіи, производяцихъ собственныя научныя изслѣдованія, примѣняющихъ принципы науки въ производствѣ и вводящихъ новѣйшія техническія усовершенствованія, очень немного. Приведу здѣсь жалобу одного конструктора по двигателямъ внутренняго сгоранія на духъ „практики“. господствующій на заводахъ. „Заводъ, пишетъ это лицо, даетъ извѣстное развитіе конструктивныхъ дарованій, если таковыя имѣются у инженера, но отнюдь не расширяетъ и не углубляетъ техническихъ познаній и не создаетъ тѣснаго взаимодѣйствія и стройной гармоніи между теоріей и практикой. Преобладаетъ одна

*) Число въ скобкахъ получено, исключая одно лицо, получающее 10800 р.

**) Число передъ скобками получено, исключая 3 лица, занятыхъ въ ж.-д. мастерскихъ, получающихъ въ среднемъ 1790 р.; цифра въ скобкахъ—средній заработокъ всѣхъ 12 чел.

практика". Другой изъ участниковъ анкеты указываетъ, что цѣлые промышленные районы обходятся крайне ничтожнымъ количествомъ научно-образованныхъ инженеровъ. „Въ Донецкомъ бассейнѣ, пишетъ онъ, можно насчитать максимумъ 8—10 человѣкъ технологовъ-механиковъ. Эта небольшая цифра должна быть объяснена не малымъ спросомъ, а только полнымъ почти отсутствіемъ лицъ съ соотвѣтствующей подготовкой, даже болѣе, съ представленіемъ о возможной здѣсь дѣятельности". Цитируемый авторъ считаетъ необходимымъ открытіе курса горнозаводской механики съ примѣненіемъ электротехники къ горному дѣлу, рекомендуетъ командировать студентовъ на рудники, совершать экскурсіи на горные заводы и прочее.

Опросный листъ.

1. Фамилія, имя, отчество.
2. Годъ окончанія Механич. отд.
3. Имѣете ли Вы дипломы другихъ учебныхъ заведеній.
4. Ваше постоянное мѣсто жительства.
5. Занимаемая Вами должность.
6. Какого характера Ваше занятіе (главное занятіе просимъ отмѣтить).
   a) Механико-техническое (механическія мастерскія, жел. дороги; электротехн. и т. д.).
   b) Инженерно-строительное (городскіе и земскіе инженеры, архитект., строит. и т. д.).
   c) Химико-техническое (заводы, фабрики, лабораторіи и т. д.).
   d) Педагогика (въ высшей школѣ, въ средней и высшей школѣ).
   e) Техно-коммерческое (торговля, технич. конторы, представительство, страховое дѣло и т. д.).
   f) Сельско-хозяйственныя предпріятія.
   g) Служба по земскому и городскому управленію.
   h) Занятія литературой, журналистикой, участіе въ техническихъ обществахъ, комиссіяхъ, трудахъ и пр.
   k) Фабричная инспекція.
   l) Прочіе роды дѣятельности.
7. Время поступленія на службу.
8. Какъ измѣнялся Вашъ заработокъ со времени окончанія Вами Института.
9. Сколько Вы зарабатываете въ годъ по должности и Вашъ добавочный заработокъ.
10. Въ какой степени Вы самостоятельны и отвѣтственны по своей дѣятельности.
11. Дополнительныя свѣдѣнія (по желанію).

Формулировку нѣкоторыхъ вопросовъ этого опроснаго листа надо признать неопредѣленною, поэтому и отвѣты иногда даются неопредѣленные. Возьмемъ, напр., пунктъ седьмой, спрашивающій о времени поступленія на

ıужбу. Лица, недавно кончившія, на этотъ вопросъ, конечно, сообщаютъ ѣдѣнія о времени поступленія на свою первую службу. А лица, много ізъ мѣнявшія мѣсто и родъ занятія, недоумѣваютъ, о какой службѣ рѣчь цетъ — о первой или о послѣдней, и чаще всего говорятъ о послѣдней. Или возьмемъ, далѣе, пунктъ 8: „Какъ измѣнялся Вашъ заработокъ › времени окончанія Вами Института?“ На этотъ вопросъ одинъ отвѣчаетъ, что заработокъ измѣнялся „два раза“, другой говоритъ, что „повыілся на 7%“, а третій пишетъ, что „увеличивался ежегодно по мѣрѣ измѣненія рода занятія и должности“. Это разнообразіе въ толкованіяхъ эпроса доказываетъ какъ нельзя лучше, что онъ поставленъ въ слишкомъ бщихъ выраженіяхъ.

Не останавливаясь на другихъ недостаткахъ опроснаго листа, уже ıгравшаго свою роль, приведемъ для руководства въ будущемъ, составенный по образцу, выработанному Обществомъ технологовъ.

Проектъ опроснаго листа.

Кіевскій Политехническій Институтъ гарантируетъ сохраненіе въ полй тайнѣ всѣхъ свѣдѣній, сообщаемыхъ на этомъ листѣ. Нижеслѣдующія ѣдѣнія будутъ использованы только въ массѣ матеріала отвѣтственными эдакторами.

А.

1. Годъ рожденія 18 . . .
2. Въ какомъ году окончили К. П. И.
3. Если окончили другія высшія учебныя заведенія, то какія и когда.
4. Какъ получили первое мѣсто (по публикаціи, черезъ товарищей и роч.).
5. Черезъ сколько времени послѣ окончанія получили первое мѣсто.
6. Размѣръ годового вознагражденія на первомъ мѣстѣ.
7. Сколько разъ перемѣнили мѣсто службы послѣ К. П. И.; назовите ги мѣста и размѣръ годового вознагражденія на каждомъ.
8. Почему мѣняли мѣсто службы.
9. Если находитесь безъ мѣста, то почему.

Б.

1. Учрежденіе, гдѣ служите въ настоящее время.
2. Положеніе въ профессіи (доменный мастеръ, преподаватель, инжеэръ-конструкторъ и т. п.).
3. Размѣръ годового вознагражденія за 1913 годъ (указать, получате-ли квартиру, отопленіе, освѣщеніе).
4. Получали-ли наградныя и въ какомъ размѣрѣ за 1913 годъ.
5. Имѣются-ли сверхурочныя работы.
6. Сколько получили за сверхурочныя работы въ 1913 году.

7. Не имѣете-ли посторонних заработковъ (непостояннаго характера: консультаціи, экстренныя къ праздникамъ, частные заказы и т. п.).

8. Сколько получили вознагражденія по этому роду заработка въ 1913 году.

9. Не получаете-ли доходы съ имущества, принадлежащаго Вамъ или Вашей женѣ; если получаете, то размѣръ ихъ.

11. Размѣръ заработка жены.

11. Не совмѣщаете-ли съ основной службой какихъ-либо другихъ должностей въ другихъ учрежденіяхъ, а также въ томъ, гдѣ служите, и сколько по нимъ получаете содержанія.

12. Если не имѣли занятій въ прошломъ 1913 году, то на какія средства существовали и сколько израсходовали на существованіе.

13. Если лишены трудоспособности, то на какія средства существуете (пособія, пенсія и пр.), въ какихъ размѣрахъ и изъ какихъ источниковъ.

14. Если живете на собственныя средства (безъ службы и занятій), то сколько проживаете.

В.

1. Среднее число рабочихъ часовъ въ сутки по основной должности.

2. Среднее число рабочихъ часовъ въ сутки по дополнительнымъ занятіямъ.

3. Число рабочихъ часовъ по сверхурочнымъ работамъ за 1913 г.

4. Пользуетесь-ли отпускомъ по основной службѣ.

5. Сверхурочныя работы являются для Васъ принудительными или добровольными.

6. Не заняты-ли Вы обязательными работами по воскресеньямъ и праздникамъ; если заняты, то какими и по сколько часовъ.

7. Служите на государственной, или общественной или частной службѣ.

8. Если служите на одной изъ поименованныхъ службъ, то по контракту или по какому-либо другому условію.

9. Если служите на фабрикѣ или заводѣ, то имѣете-ли право

а) свободнаго выбора патента на свое имя,

б) печатанія трудовъ и отчетовъ по вопросамъ техники.

10. Если этого права не имѣете, то чѣмъ оно ограничивается (контрактомъ, особымъ условіемъ; обычнымъ или устнымъ запретомъ

Г.

1. Семейное положеніе (просятъ не дѣлать различія между законнымъ бракомъ и свободнымъ сожительствомъ).

2. Когда вступили въ бракъ, ... году.

3. Сколько въ Вашей семьѣ дѣтей по полу и возрасту (перечислить).

4. Сколько состоитъ дѣтей на Вашемъ иждивеніи.

5. Нѣтъ-ли въ Вашей семьѣ родныхъ, живущихъ вмѣстѣ съ Вами и на Вашемъ иждивеніи; если имѣется, то сколько ихъ и ихъ возрастъ.

Д.

1. Расходы на содержаніе за 1913 г.
   а) хозяйственные расходы: столъ, освѣщеніе и пр.
   б) квартирная плата,
   в) расходы на воспитаніе и образованіе дѣтей,
   г) расходы на прислугу,
   д) „ „ одежду,
   е) на дачу и лѣтнія поѣздки,
   ж) на леченіе,
   з) расходы на проѣздъ къ мѣсту службы.
2. Расходы на общія книги, журналы и газеты.
3. „ „ техническія книги, журналы и газеты.
4. Не оказываете-ли кому матеріальную поддержку и въ какомъ размѣрѣ.
5. Изъ сколькихъ комнатъ состоитъ Ваша квартира.

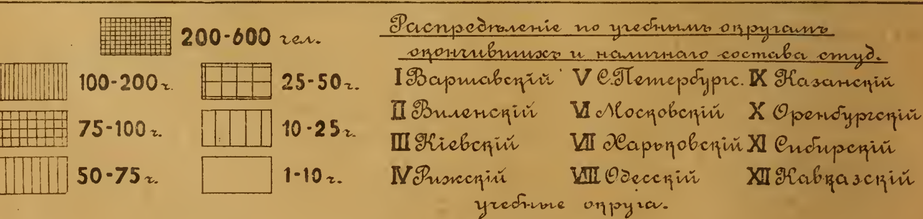
Е.

1. Какія мѣры обезпеченія принимаете на случай старости, инвалидности и смерти:
   а) застрахованы-ли на случай смерти, на какую сумму и за чей счетъ (хозяина, предпріятія, государственный, земскій);
   б) застрахованы на дожитіе—на какую сумму и за чей счетъ;
   в) застрахованы на случай увѣчья—на какую сумму и за чей счетъ;
   г) не дѣлаете-ли сбереженій въ формѣ капитала и въ какомъ размѣрѣ;
   д) не пріобрѣли-ли доходное недвижимое имущество — его стоимость;
   е) не пріобрѣли-ли доходное имущество, но съ погашеніемъ, указаніе его стоимости и размѣра погашенія.
2. Не страдаете-ли хронической болѣзнью, уменьшающей или вовсе уничтожающей Вашу работоспособность; не имѣете-ли увѣчья, уменьшающаго Вашу работоспособность.
3. Не является-ли Ваша хроническая болѣзнь или увѣчье слѣдствіемъ Вашей профессіональной дѣятельности.
4. Если участвуете въ научно-техническихъ обществахъ, то въ какихъ именно.

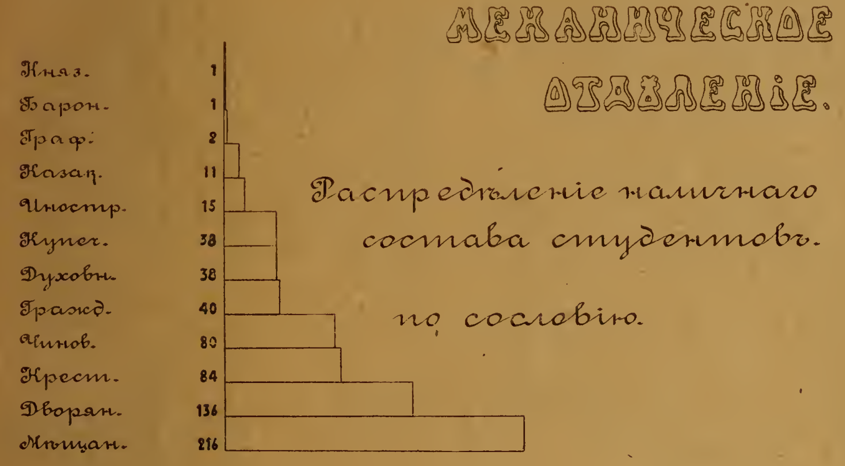
Инж.-техн. **К. Я. Залтъ.**

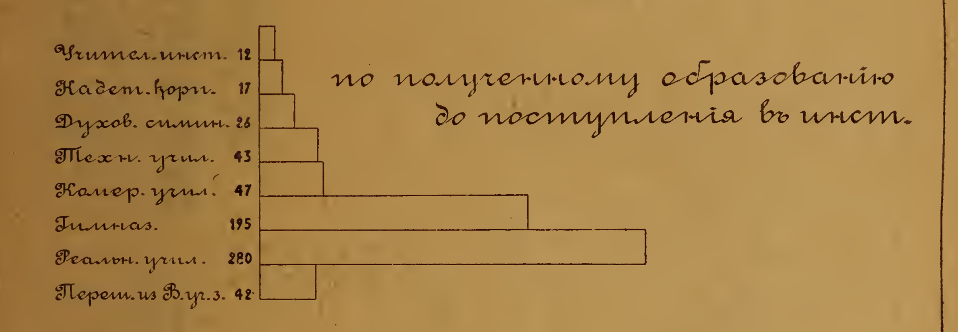
К. П. И.

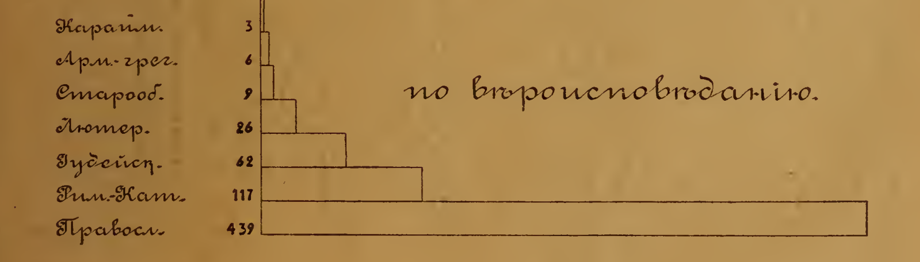
МЕХАНИЧЕСКОЕ ОТДѢЛЕНІЕ

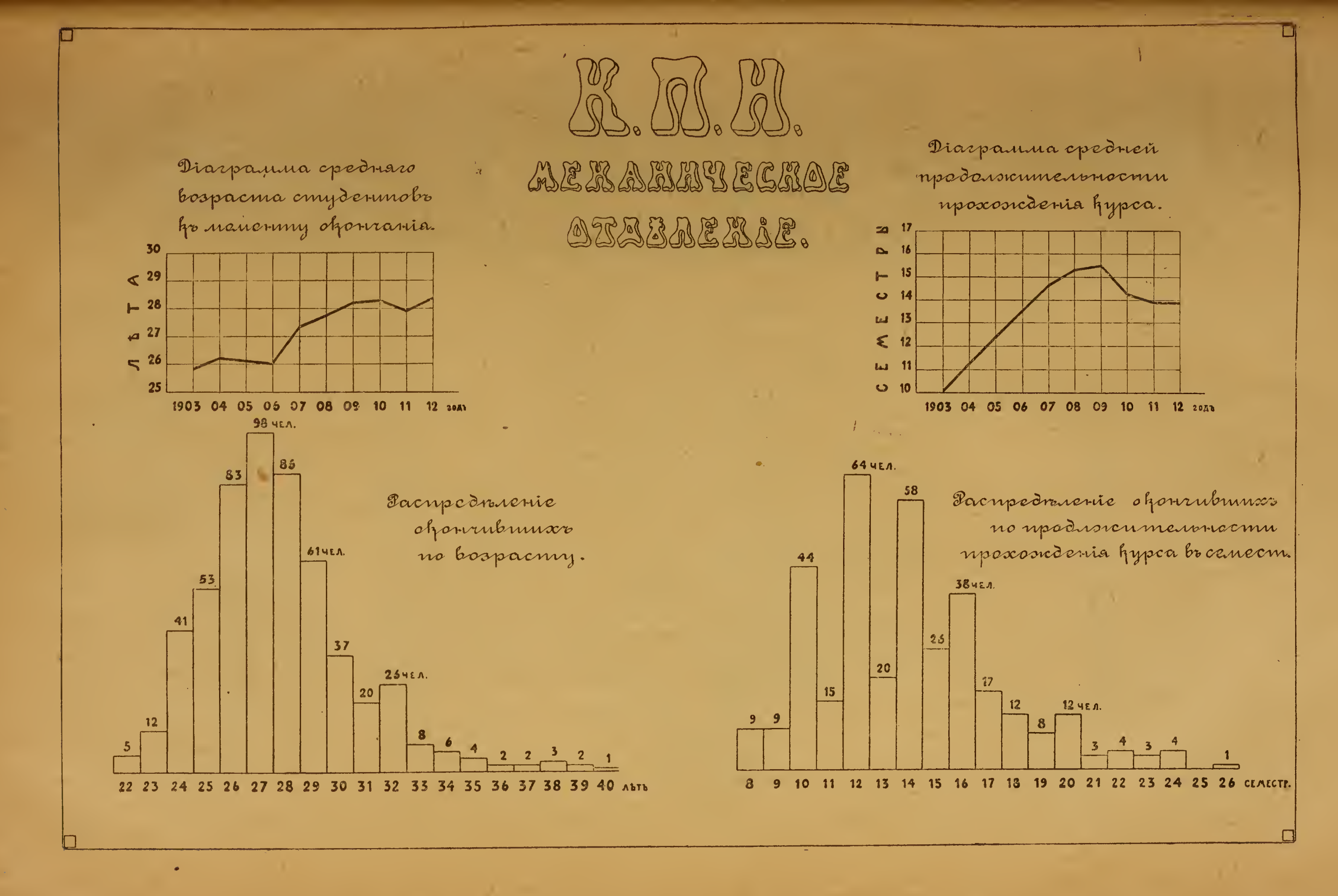


К. П. И.


Механическое
отделенiе.
Распредѣленiе наличнаго
состава студентовъ.
по сословiю.
Княз. 1
Барон. 1
Граф. 2
Казак. 11
Иностр. 15
Купеч. 38
Духовн. 38
Гражд. 40
Чинов. 80
Крест. 84
Дворян. 136
Мѣщан. 216


по полученному образованiю
до поступленiя въ инст.
Учител. инст. 12
Кадет. корп. 17
Духов. симин. 26
Техн. учил. 43
Комер. учил. 47
Гимназ. 195
Реальн. учил. 280
Переш. из В.уч.з. 42


по вѣроисповѣданiю.
Караим. 3
Арм.-греч. 6
Старооб. 9
Лютер. 26
Иудейск. 62
Рим.-Кат. 117
Правосл. 439


К. П. И.
Механическое отдѣленіе.
Діаграмма средняго возраста студентовъ къ моменту окончанія.
ЛѢТА
25 26 27 28 29 30
1903 04 05 06 07 08 09 10 11 12 годъ
Діаграмма средней продолжительности прохожденія курса.
СЕМЕСТРЪ
10 11 12 13 14 15 16 17
1903 04 05 06 07 08 09 10 11 12 годъ
Распредѣленіе окончившихъ по возрасту.
5 12 41 53 83 98 чел. 85 61 чел. 37 20 26 чел. 8 6 4 2 2 3 2 1
22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 лѣтъ
Распредѣленіе окончившихъ по продолжительности прохожденія курса въ семест.
9 9 44 15 64 чел. 20 58 25 38 чел. 17 12 8 12 чел. 3 4 3 4 1
8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 семестр.

К. П. И.

Механическое отделенiе.

Распредѣленiе окончившихъ по сословiю.

Казаковъ.	6
Иностр.	12
Духовн.	21
Гражд.	31
Крест.	39
Купец.	40
Чинов.	75
Дворян.	106
Мѣщан.	220

Распредѣленiе окончившихъ по среднему образованiю.

Морс. ин. учил.	1
Духов. семин.	5
Технич. учил.	5
Учител. инст.	8
Кадет. корп.	12
Комер. учил.	19
Гимназiи.	145
Реальн. учил.	226

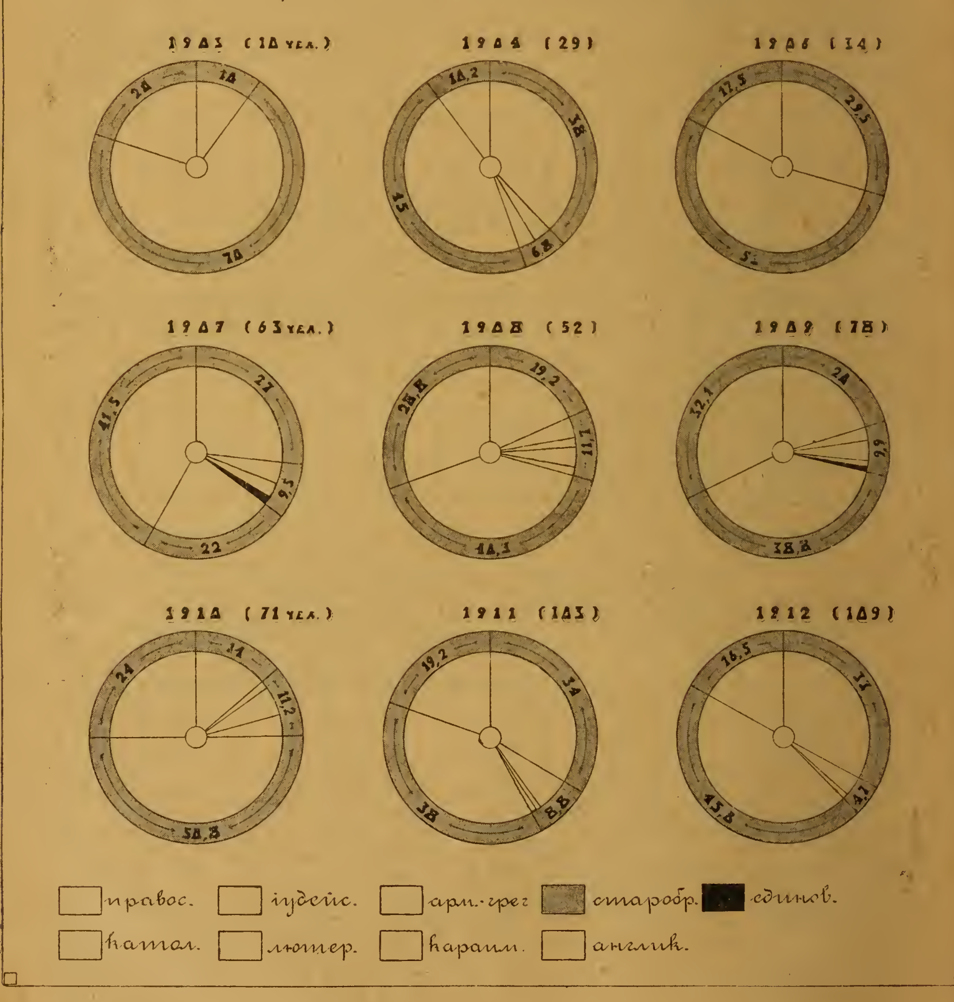
Распредѣленiе окончившихъ по вѣроисповѣданiю.

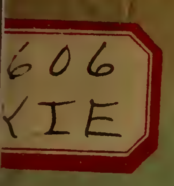
Англик.	1
Единов.	2
Караим.	3
Старообр.	3
Арм. грег.	10
Лютер.	24
Р. Катол.	132
Иудейск.	147
Православ.	228

К. П. Н.

Механическое отдѣленіе.

Діаграммы распредѣленія окончившихъ по религіи по годамъ в %





ANNALES

de l'Institut Polytechnique de l'Empereur Alexandre II
à Kiev.

16-me année **1916.** 3—4-me livraison.

ИЗВѢСТІЯ

КІЕВСКАГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКАГО ИНСТИТУТА

Императора Александра II.

ОТДѢЛЪ

Инженерно-Механическій.

1916 г.

Книга 3—4.

КІЕВЪ
Типографія Товарищества И. Н. Кушнеревъ и К°. Караваевская, № 5.
1917.

Оглавленіе.

Стр.

Table des matières.

Pag.

Печатано по постановленію Совѣта Кіевскаго Политехническаго Института ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА II.

Вліяніе криволинейнаго пояса на вѣтровыя усилія мостовыхъ фермъ.

Инженеръ П. Рабцевичъ.

При разсчетѣ усилій въ элементахъ мостовыхъ фермъ, вызываемыхъ давленіемъ вѣтра, допускаютъ цѣлый рядъ погрѣшностей, значительно искажающихъ истинныя усилія. Особенно такое искаженіе имѣетъ мѣсто при разсчетѣ усилій отъ дѣйствія вѣтра на ферму съ криволинейнымъ поясомъ. Въ практикѣ принято разсчетъ усилій отъ давленія вѣтра расчленять на слѣдующія операціи: 1) на разсчетъ усилій отъ непосредственнаго дѣйствія вѣтра, 2) на разсчетъ усилій отъ перегрузки фермъ, благодаря криволинейности верхняго пояса и наклона опорныхъ рамъ, и, наконецъ, 3) на разсчетъ усилій отъ перегрузки фермъ вслѣдствіе давленія вѣтра на поѣздъ. Въ виду того, что поѣздъ на мосту можетъ занимать различныя положенія, выдѣленіе 3-ей операціи имѣетъ за собой основанія; что же касается первыхъ двухъ операцій, то надо замѣтить, что вышеуказанное дѣленіе вопроса на части вноситъ нѣкоторую неясность и самое главное служитъ причиной погрѣшностей. Неясность вопроса заключается въ томъ, что одна и та же причина учитывается нѣсколько разъ; напримѣръ, верхнія связи мостовой фермы съ криволинейнымъ очертаніемъ верхняго пояса разсматриваютъ какъ самостоятельную горизонтальную плоскую ферму и найденныя усилія дѣлятъ на косинусы угловъ наклона стержней къ горизонту; къ найденнымъ такимъ образомъ усиліямъ добавляютъ дополнительныя усилія, вызываемыя криволинейнымъ очертаніемъ поясовъ. Такимъ образомъ, криволинейность верхняго пояса учитывается два раза. Этотъ пріемъ даетъ правильныя усилія только для рѣшетки связей; что же касается поясовъ, то ихъ усилія получаются съ большимъ искаженіемъ противъ дѣйствительныхъ.

Въ фермахъ съ параллельными поясами и наклонными опорными рамами за разсчетный пролетъ верхнихъ связей въ практикѣ очень часто принимаютъ пролетъ мостовой фермы, между тѣмъ вѣтровыя усилія ближе къ дѣйствительнымъ, если за разсчетный пролетъ брать разстояніе между осями верхнихъ распорокъ опорныхъ рамъ.

Только при параллельныхъ поясахъ и вертикальныхъ опорныхъ рамахъ примѣняемый въ практикѣ способъ разсчета усилій отъ дѣйствія вѣтра даетъ правильный результатъ.

Отмѣтивъ допускаемыя въ практикѣ погрѣшности, переходимъ къ изложенію затронутаго вопроса.

Содержаніе.

I. Въ первой главѣ разсмотрѣны мосты съ ѣздою по низу и криволинейнымъ верхнимъ поясомъ и на частныхъ примѣрахъ выяснены:

1. вліяніе криволинейности верхняго пояса на вѣтровыя усилія въ элементахъ главныхъ фермъ и на опорныя рамы,
2. вліяніе наклонныхъ опорныхъ рамъ на усилія въ элементахъ главныхъ фермъ,
3. вліяніе системы связей на величину вѣтровыхъ усилій въ главныхъ фермахъ.

II. Во второй главѣ разсмотрѣны мосты съ ѣздою по верху и криволинейнымъ нижнимъ поясомъ.

III. Въ третьей главѣ предложенъ простой выводъ формулъ для разсчета опорныхъ рамъ съ жесткими углами и рамъ съ угловыми консольными листами.

Глава первая.

Мосты съ ѣздою по низу и криволинейнымъ верхнимъ поясомъ.

§ 1. Ходъ разсчета.

Чтобы подойти къ правильному рѣшенію вопроса объ усиліяхъ, вызываемыхъ давленіемъ вѣтра на криволинейный поясъ, мостовую ферму необходимо разсматривать цѣликомъ такъ, какъ она есть, а отнюдь не разбивать на отдѣльныя грани. При разсмотрѣніи мостовой фермы, какъ пространственной системы, ходъ разсчета сводится къ слѣдующимъ операціямъ:

1) къ опредѣленію опорныхъ реакцій,

2) къ опредѣленію усилій въ стержняхъ нижняго пояса, расположенныхъ въ крайнихъ панеляхъ,

3) къ опредѣленію усилій въ рѣшеткѣ верхнихъ связей,

4) къ опредѣленію реакцій верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ,

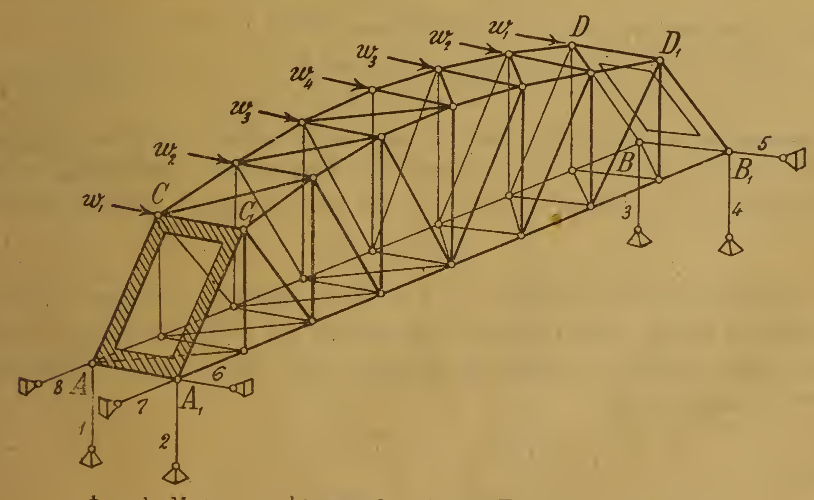
5) къ разсчету усилій въ стержняхъ главныхъ фермъ,

6) къ выясненію внѣшнихъ силъ, дѣйствующихъ на опорныя рамы и ихъ разсчету.

Каждую изъ этихъ операцій разсмотримъ отдѣльно.

1. Опредѣленіе опорныхъ реакцій.

Въ мостахъ среднихъ и большихъ пролетовъ металлическое пролетное строеніе закрѣпляютъ съ помощью восьми опорныхъ стержней (фиг. 1),



Фиг. 1. Мостовая ферма на восьми опорныхъ стержняхъ.

соотвѣтствующихъ одной неподвижной опорѣ (узелъ A_1), двумъ цилиндрическимъ опорамъ (узлы A и B_1), допускающимъ перемѣщенія поперекъ моста по линіи $A_1\ A$ и вдоль моста по $A_1\ B_1$, и одной шаровой опорѣ (узелъ B), допускающей перемѣщенія по всѣмъ направленіямъ опорной площадки. Для неподвижнаго закрѣпленія твердаго тѣла требуется всего шесть опорныхъ стержней, слѣдовательно, въ отношеніи опорныхъ реакцій способъ закрѣпленія, указанный на фиг. 1, дважды статически неопредѣлимъ. Обычныхъ шести уравненій статики, выражающихъ условія равновѣсія твердаго тѣла, недостаточно; нужны еще два добавочныя условія.

Сквознымъ сѣченіемъ разсѣкаемъ всѣ опорные стержни (фиг. 1) и къ отсѣченной части прикладываемъ силы, равныя усиліямъ, возникающимъ въ нихъ при дѣйствіи вѣтра.

Симметричная нагрузка.

При симметричной фермѣ и при томъ симметрично нагруженной (фиг. 1 и 2), считаютъ возможнымъ сдѣлать слѣдующія допущенія:

1) принять, что горизонтальные стержни №№ 7 и 8 не работаютъ:

$$H_7 = H_8 = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots (1);$$

это допущеніе отвѣчаетъ принятому въ практикѣ устройству опорныхъ частей;

2) предположить, что въ вертикальныхъ стержняхъ №№ 2 и 4, симметрично расположенныхъ относительно внѣшнихъ силъ, усилія равны по величинѣ и одинаковы по знаку:

$$V_2 = V_4 = V \ldots\ldots\ldots\ldots (2).$$

Принятыя добавочныя условія вмѣстѣ съ уравненіями статики позволяютъ найти усилія во всѣхъ остальныхъ опорныхъ стержняхъ.

Уравненіе моментовъ относительно оси $A\ B$ даетъ:

$$2 . V . b = \Sigma\, w . h \ldots\ldots\ldots\ldots (3),$$

откуда находимъ усиліе V въ стержняхъ № 2 и № 4:

$$V = \frac{\Sigma\, w . h}{2 . b} \ldots\ldots\ldots\ldots (4).$$

Изъ уравненія моментовъ относительно вертикальной прямой, симметрично расположенной къ даннымъ силамъ w, напримѣръ, относительно прямой, совпадающей со средней стойкой одной изъ главныхъ фермъ, находимъ:

$$H_5 = H_6 \ldots\ldots\ldots\ldots (5),$$

т. е. горизонтальные стержни № 5 и № 6 имѣютъ равныя усилія и одинаковыя по знаку. Для простоты, величины H_5 и H_6 обозначимъ черезъ H и составимъ сумму проекцій на прямую $A\ B$ всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на отсѣченную часть:

$$\Sigma\, w - H - H = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots (6),$$

откуда

$$H = {}^1/_2\, \Sigma\, w \ldots\ldots\ldots\ldots (7).$$

Изъ уравненій моментовъ относительно осей AA_1 и BB_1 имѣемъ:

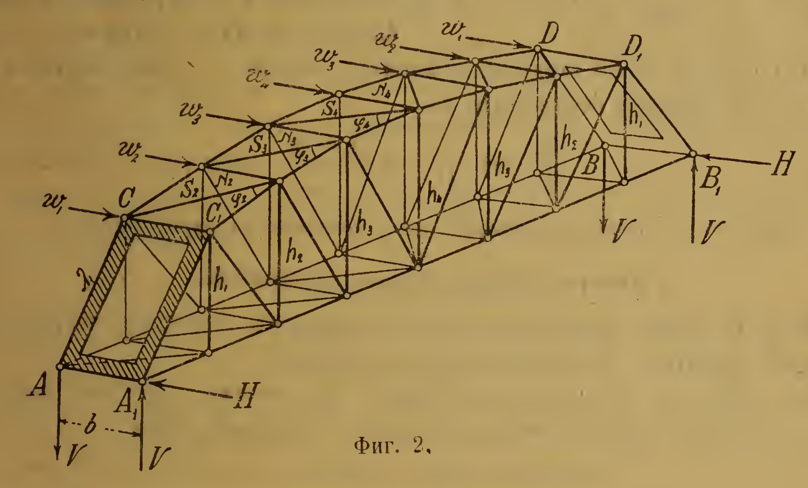
$$V_2 = - V_1 \quad \ldots \ldots \quad (8)$$

$$V_4 = - V_3 \quad \ldots \ldots \quad (9),$$

откуда на основаніи равенства (2) получаемъ:

$$V_1 = V_3 = V \quad \ldots \ldots \quad (10).$$

Итакъ, въ окончательномъ результатѣ опорныя реакціи сводятся къ шести внѣшнимъ силамъ: четыремъ вертикальнымъ V и двумъ горизонтальнымъ H (фиг. 2).



Фиг. 2.

Несимметричная нагрузка.

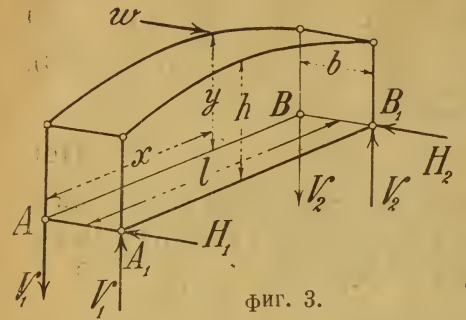
При несимметричной нагрузкѣ для опредѣленія опорныхъ реакцій достаточно принять слѣдующія условія: 1) принять, что стержни № 7 и № 8 (фиг. 1) не работаютъ:

$$H_7 = H_8 = 0$$

и 2) предположить, что и сама сила w, и производимый ею опрокидывающій моментъ $w.y$ (фиг. 3) распредѣляются по закону рычага. Эти допущенія вмѣстѣ съ уравненіями статики приводятъ къ шести опорнымъ реакціямъ, имѣющимъ слѣдующія величины:

$$\left.\begin{aligned} H_1 &= w.\frac{(l - x)}{l} \\ H_2 &= w.\frac{x}{l} \\ V_1 &= \frac{w.y}{b} \cdot \frac{(l - x)}{l} \\ V_2 &= \frac{w.y}{b} \cdot \frac{x}{l} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \quad (11),$$

При $x = 0{,}5 \cdot l$, грузъ w займетъ симметричное положенiе и для опорныхъ реакцiй получимъ слѣдующiя значенiя:



фиг. 3.

$$H_1 = H_2 = \frac{w}{2}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{w \cdot h}{2 \cdot b},$$

гдѣ черезъ h обозначена высота фермы по серединѣ пролета. Тотъ же результатъ получаемъ и по формуламъ (4) и (7).

Вышеуказанное допущенiе о распредѣленiи силы w и ея опрокидывающаго момента $w \cdot y$ аналитически выражается слѣдующимъ соотношенiемъ:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{l - x}{x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12),$$

которое получается непосредственно на основанiи формулъ (11).

Девять и десять опорныхъ стержней.

Кромѣ случаевъ примѣненiя восьми опорныхъ стержней, въ практикѣ примѣняютъ девять и десять опорныхъ стержней.

При девяти опорныхъ стержняхъ мы имѣемъ одну неподвижную опору и три опоры, допускающiя движенiе по прямой линiи:

$$1 \times 3 + 3 \times 2 = 9.$$

Десяти опорнымъ стержнямъ соотвѣтствуютъ двѣ неподвижныя опоры и двѣ продольно-подвижныя:

$$2 \times 3 + 2 \times 2 = 10.$$

Независимо отъ числа опорныхъ стержней, можно принять, что опорныя реакцiи при давленiи вѣтра на ферму сводятся къ шести силамъ: четыремъ вертикальнымъ и двумъ горизонтальнымъ (фиг. 2 и 3), величины которыхъ опредѣляются по тѣмъ же формуламъ, какъ и при восьми опорныхъ стержняхъ.

Такое допущенiе оправдывается принятой въ практикѣ конструкцiей опоръ. Неподвижныя опоры, состоящiя изъ балансировъ съ цилиндрической головкой, и опоры, снабженныя цилиндрической цапфой, допускаютъ балансированiе пролетнаго строенiя и небольшiя перемѣщенiя поперекъ моста въ виду того, что между ребордами балансировъ и цапфы всегда имѣется небольшой зазоръ въ нѣсколько миллиметровъ для большей свободы балансированiя и на случай температурныхъ измѣненiй пролетнаго строенiя. Въ тѣхъ же случаяхъ когда неподвижная опора составлена изъ балансировъ, снабженныхъ шаровой головкой, предпочтительно пользоваться девятью опорными стержнями, а не десятью, ибо только при девяти опорныхъ стержняхъ пролетное строенiе не утратитъ возможности

небольшихъ перемѣщеній поперекъ моста. Устройство двухъ неподвижныхъ опоръ съ шаровой головкой можетъ повести къ разрушенію кладки каменныхъ опоръ или же къ сдвигу подферменниковъ.

Что же касается подвижныхъ опоръ, то ихъ конструкція всегда допускаетъ боковыя перемѣщенія, ибо между торцами катковъ и балансирами всегда имѣется небольшой зазоръ.

Итакъ, если при десяти опорныхъ стержняхъ пользоваться опорами съ цилиндрическими поверхностями, а опоры съ шаровыми поверхностями примѣнять только при девяти или восьми опорныхъ стержняхъ, принятое нами допущеніе о виличинѣ опорныхъ реакцій (фиг. 2 и 3), возникающихъ на опорахъ при дѣйствіи на ферму вѣтра, будетъ очень близко къ дѣйствительности. Найденныя нами реакціи будутъ нѣсколько разниться отъ дѣйствительныхъ, такъ какъ при всѣхъ вышеуказанныхъ выводахъ мы предполагали стержни фермы абсолютно твердыми и пренебрегали силами тренія, несомнѣнно имѣющими мѣсто при перемѣщеніяхъ опорныхъ узловъ, вызываемыхъ деформацiей упругаго пролетнаго строенія.

Въ дальнѣйшемъ изложеніи мы всегда предполагаемъ, что нагрузка симметричная.

Основныя предположенія.

Переходя къ разсчету усилій въ стержняхъ фермы, принимаемъ слѣдующія предположенія: 1) во всѣхъ узлахъ фермы и въ мѣстахъ примыканія стержней къ опорнымъ рамамъ имѣются шарниры, 2) каждая опорная рама (фиг. 2) представляетъ неизмѣняемую жесткую систему, могущую сопротивляться внѣшнимъ силамъ, дѣйствующимъ въ ея плоскости и 3) внѣшнія силы $w_1\ w_2\ w_3 \ldots$ пусть приложены только въ узлахъ. При сдѣланныхъ допущеніяхъ всѣ стержни фермы, кромѣ элементовъ опорныхъ рамъ, будутъ работать только на продольное усиліе, а части рамы еще и на изгибъ въ ея плоскости. Если бы въ мостовой фермѣ, отсѣченной отъ опорныхъ стержней, вмѣсто жесткихъ опорныхъ рамъ ввести діагонали $A_1\ C$ и $D\ B_1$ (фиг. 2), то имѣли бы неизмѣняемую и статически опредѣлимую систему, такъ какъ мостовая ферма представила бы замкнутую систему, стержни которой расположены на боковой поверхности и образуютъ простую треугольную рѣшетку. Замѣна указанныхъ діагоналей жесткими рамами не мѣняетъ кинематическихъ свойствъ остальной части системы и вводитъ статическую неопредѣлимость только въ разсчетъ опорныхъ рамъ, средняя же ея часть, независимо отъ того, будутъ ли на концахъ фермы діагонали $A_1 . C$ и $D\ B_1$ или жесткія рамы, представитъ неизмѣняемую и статически опредѣлимую систему.

Извѣстно, что статически опредѣлимое стержневое сочлененіе для каждой заданной нагрузки допускаетъ только одно рѣшеніе. Если, слѣдовательно, найдено рѣшеніе, то оно и есть единственно возможное. Это положеніе даетъ намъ возможность сдѣлать то или другое предположеніе въ отношеніи усилій нѣкоторыхъ стержней, если, послѣ окончанія разсчета, мы придемъ къ рѣшенію, при которомъ

равновѣсіе всей системы и каждаго его узла будутъ имѣть мѣсто, то мы скажемъ, что сдѣланное допущеніе выбрано правильно.

Въ нашемъ случаѣ (фиг. 2) мы предполагаемъ, что рѣшетка нижнихъ связей (діагонали и распорки) на нагрузку, приложенную въ узлахъ верхнихъ связей, не работаютъ и въ этомъ предположеніи производимъ разсчетъ усилій во всѣхъ остальныхъ стержняхъ мостовой фермы. Въ окончательномъ реаультатѣ, какъ мы увидимъ ниже, намъ удается найти усилія для остальныхъ стержней и при томъ такъ, что каждый узелъ фермы сохраняетъ равновѣсіе; слѣдовательно, мы можемъ утверждать, что допущеніе относительно работы нижнихъ связей сдѣлано нами правильно, такъ какъ статически опредѣлимая система или часть ея для каждой заданной нагрузки допускаютъ только одно рѣшеніе.

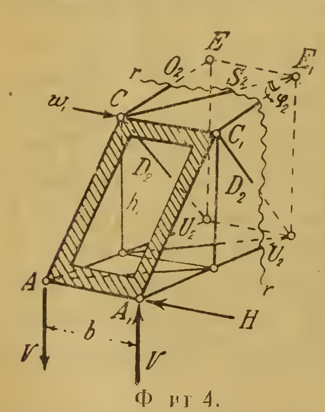
2. Опредѣленіе усилій въ стержняхъ нижняго пояса, расположенныхъ въ крайнихъ панеляхъ.

Если въ опорныхъ узлахъ (фиг. 2) каждую изъ четырехъ найденныхъ вертикальныхъ силъ V разложить на двѣ составляющія, изъ которыхъ одна R идетъ вдоль ноги рамы, а другая T—вдоль нижняго пояса (фиг. 5), и исходить изъ условія равновѣсія опорныхъ узловъ, то найдемъ усилія въ стержняхъ нижняго пояса, примыкающихъ къ опорнымъ рамамъ:

$$U_1 = T = V . \operatorname{cotg} \alpha = V . \frac{d}{h_1}$$

$$U_1 = \frac{d}{h_1} \cdot \frac{\Sigma w . h}{2 . b} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (13),$$

причемъ стержни передней фермы (считая по вѣтру) окажутся сжатыми, а стержни задней фермы—растянутыми. Покажемъ, что остальные стержни нижняго пояса, принадлежащіе одной и той же панели, имѣютъ усилія, одинаковыя по величинѣ, но противоположныя по знаку. Сквознымъ сѣченіемъ $r - r$ (фиг. 4) отсѣкаемъ опорную раму и составляемъ уравненіе моментовъ относительно оси $C\,C_1$. Внѣшнія силы w_1, H и пара $V\,V$ относительно выбранной оси момента не даютъ. Усиліе S_2 діагонали верхнихъ связей и усилія верхнихъ поясовъ и раскосовъ главныхъ фермъ пересѣкаютъ выбранную ось $C\,C_1$, слѣдовательно, ихъ моменты относительно этой оси тоже равны нулю. Изъ оставшихся трехъ стержней діагональ нижнихъ связей усилія не имѣетъ; такимъ образомъ, остаются усилія нижнихъ поясовъ, которыя, при равенствѣ плечъ h_1, должны быть равны по величинѣ и обратны по знаку. Проводя сѣченія въ слѣдующихъ панеляхъ и составляя уравненія моментовъ относительно осей,



Фиг. 4.

совпадающихъ съ распорками верхнихъ связей, мы докажемъ, что въ главныхъ фермахъ усилія стержней нижняго пояса, расположенныхъ въ одной и той же панели, равны по величинѣ и противоположны по знаку.

Составляющія R, лежащія въ плоскости опорныхъ рамъ (фиг. 5), имѣютъ величину:

$$R = \frac{V}{\sin\alpha} = \frac{\lambda_1}{h_1} \cdot \frac{\Sigma wh}{2b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

3. Опредѣленіе усилій въ рѣшеткѣ верхнихъ связей.

Обозначимъ черезъ $S_2\, S_3\, S_4\ldots$ усилія въ діагоналяхъ верхнихъ связей и черезъ $\varphi_2\, \varphi_3\, \varphi_4\ldots$ углы, образуемые діагоналями съ элементами верхняго пояса (фиг. 2). Сквознымъ сѣченіемъ $r\,r$ отсѣкаемъ первую панель мостовой фермы (фиг. 4) и всѣ дѣйствующія на нее внѣшнія силы проектируемъ на ось $C\,C_1$. Получаемъ:

$$S_2 . \sin\varphi_2 = H - w_1,$$

откуда

$$S_2 = \frac{H - w_1}{\sin\varphi_2} = \frac{Q_2}{\sin\varphi_2} \text{ (растяженіе)} \quad \ldots . (15).$$

Проводимъ сквозное сѣченіе въ третьей панели и снова всѣ силы, дѣйствующія на отсѣченную часть, проектируемъ на ось $C\,C_1$; находимъ:

$$S_3 . \sin\varphi_3 = H - w_1 - w_2,$$

откуда

$$S_3 = \frac{H - w_1 - w_2}{\sin\varphi_3} = \frac{Q_3}{\sin\varphi_3} \text{ (растяженіе)}$$

Сквозное сѣченіе черезъ стержни четвертой панели даетъ:

$$S_4 = \frac{H - w_1 - w_2 - w_3}{\sin\varphi_4} = \frac{Q_4}{\sin\varphi_4} \text{ (растяженіе)} \quad \ldots . (16).$$

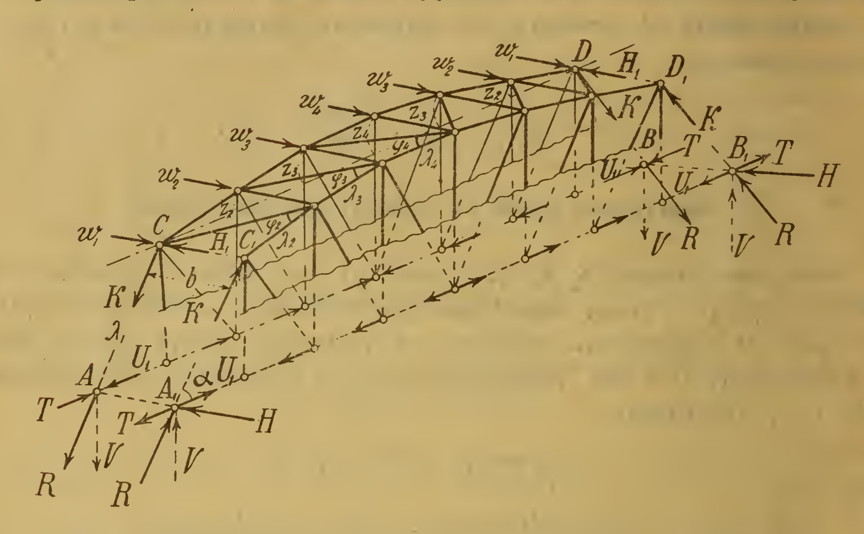
Усилія въ *распоркахъ* верхнихъ связей проще всего получить исходя изъ равновѣсія верхнихъ узловъ фермы. Вырѣзывая изъ системы узелъ и проектируя на направленіе распорки всѣ силы этого узла, находимъ:

$$\left.\begin{array}{l} N_2 = S_2 . \sin\varphi_2 = Q_2 \text{ (сжатіе)} \\ N_3 = S_3 . \sin\varphi_3 = Q_3 \text{ (сжатіе)} \\ N_4 = w_4 \;\ldots\ldots\; \text{ (сжатіе)} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots (17).$$

4. Опредѣленіе реакцій верхнихъ шарнировъ опорной рамы.

Верхнія связи примыкаютъ къ опорнымъ рамамъ и связаны съ ней шарнирами $C\, D\, C_1\, D_1$ (фиг. 2). Выяснимъ величины реакцій, возникающихъ въ этихъ шарнирахъ отъ давленія вѣтра на верхніе узлы. Для рѣшенія поставленнаго вопроса выдѣлимъ изъ мостовой фермы систему верхнихъ

связей, разсѣкая для этого шарниры $C\,D\,C_1\,D_1$ и стержни рѣшетки главныхъ фермъ (фиг. 5). Разсѣченные шарниры примыкаютъ непосредственно къ опорнымъ рамамъ. Чтобы не нарушить равновѣсія, въ центрахъ раз-



Фиг. 5. Опредѣленіе реакцій верхнихъ шарнировъ опорной рамы.

сѣченныхъ шарнировъ необходимо приложить силы, которыя должны возмѣстить дѣйствіе удаленныхъ опорныхъ рамъ. Искомыя реакціи проходятъ черезъ центры разсѣченныхъ шарнировъ и лежатъ въ плоскости опорныхъ рамъ; реакціи шарнировъ C_1 и D_1 должны лежать еще въ плоскости главной фермы, такъ какъ онѣ уравновѣшиваютъ усилія ея стержней, сходящихся въ шарнирахъ C_1 и D_1. Всѣмъ указаннымъ условіямъ удовлетворяютъ силы K, проходящія черезъ центры шарнировъ и идущія вдоль ногъ отсѣченныхъ рамъ (фиг. 5). Что же касается реакцій двухъ другихъ шарнировъ C и D, то каждую изъ нихъ раскладываемъ на двѣ составляющія, изъ которыхъ первая H_1 идетъ вдоль распорки рамы, а другая K вдоль ноги рамы (фиг. 5). Изъ уравненій моментовъ, составленныхъ относительно осей $C\,C_1$ и $D\,D_1$, и изъ условія симметріи отсѣченной части и ея нагрузки непосредственно слѣдуетъ, что силы K, дѣйствующія въ разсѣченныхъ шарнирахъ, по абсолютной величинѣ будутъ между собою равны. Для опредѣленія величины K, составимъ уравненіе моментовъ относительно оси CD. Если обозначимъ черезъ z разности высотъ стоекъ главной фермы:

$$z_1 = h_1 - h_1 = 0$$

$$z_2 = h_2 - h_1$$

$$z_3 = h_3 - h_1$$

$$z_4 = h_4 - h_1,$$

которыя для краткости будетъ называть ординатами кривизны верхняго пояса, то указанное уравненіе моментовъ относительно оси $C\,D$ будетъ:

$$2\,K.\sin\alpha.b = \Sigma\, w.z \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18),$$

откуда

$$K = \frac{\Sigma\, w.z}{2.b.\sin\alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19).$$

Входящій сюда уголъ α представляетъ уголъ наклона опорной рамы къ горизонту, слѣдовательно:

$$\sin\alpha = \frac{h_1}{\lambda_1},$$

а потому

$$K = \frac{\lambda_1}{h_1}.\frac{\Sigma\, w\, z}{2.b} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20).$$

Въ составленное уравненіе моментовъ (18) усилія разсѣченныхъ стержней, принадлежащихъ рѣшеткамъ главныхъ фермъ, не входятъ, такъ какъ при попарномъ ихъ сложеніи, онѣ, очевидно, сводятся къ силамъ, идущимъ вдоль нижнихъ поясовъ фермы, т. е. къ силамъ, параллельнымъ выбранной оси моментовъ (фиг. 5).

Сумма проекцій всѣхъ силъ на прямую $C\,C_1$ даетъ уравненіе:

$$2\,H_1 = \Sigma\, w,$$

откуда

$$H_1 = \frac{\Sigma\, w}{2} = H \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21).$$

Слѣдовательно, горизонтальныя реакціи верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ равны горизонтальнымъ реакціямъ опорныхъ узловъ (см. урав. 7). Имѣя величины опорныхъ реакцій, реакцій верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ и усилія въ рѣшеткѣ верхнихъ связей, можемъ перейти къ разсчету усилій въ стержняхъ главныхъ фермъ и къ разсчету опорныхъ рамъ.

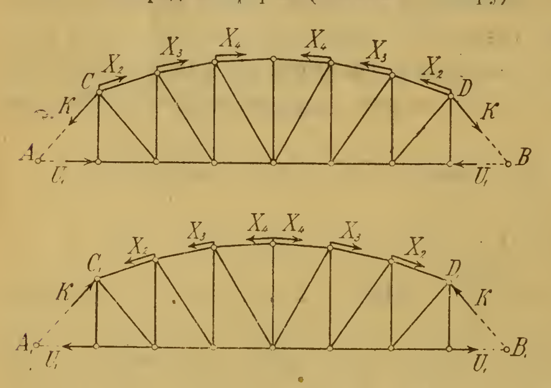
5. Разсчетъ усилій въ стержняхъ главныхъ фермъ.

Сквозными сѣченіями, пересѣкающими верхніе шарниры опорныхъ рамъ и стержни нижняго пояса, расположенные въ крайнихъ панеляхъ, отсѣкаемъ отъ мостовой фермы опорныя рамы, а оставшуюся часть разсѣкаемъ на двѣ половины и каждую изъ нихъ со всѣми на нее дѣйствующими силами проектируемъ на плоскость чертежа. Въ результатѣ такой операціи получаемъ двѣ свободныя плоскія системы, находящіяся въ равновѣсіи (фиг. 6 и 7) и нагруженныя слѣдующими силами: реакціями K верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ, силами U_1, равными усиліямъ разсѣченныхъ стержней нижняго пояса, и силами X, равными проекціямъ усилій разсѣченныхъ діагоналей верхнихъ связей на плоскость главныхъ фермъ. Силы K и U_1 нами уже были найдены, а силы X выражаются такъ:

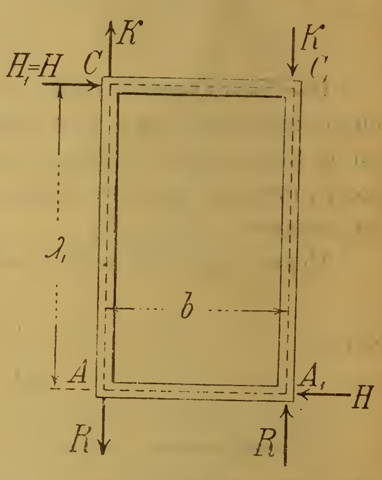
$$\left.\begin{array}{l} X_2 = S_2.\cos\varphi_2 = \dfrac{Q_2}{\sin\varphi_2}.\cos\varphi_2 = Q_2.\mathrm{cotg}\,\varphi_2 = Q_2\dfrac{\lambda_2}{b} \\ X_3 = S_3.\cos\varphi_3 = \dfrac{Q_3}{\sin\varphi_3}.\cos\varphi_3 = Q_3.\mathrm{cotg}\,\varphi_3 = Q_3\dfrac{\lambda_3}{b} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{array}\right| \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

Силы X приложены въ тѣхъ узлахъ верхняго пояса, къ которымъ подходятъ разсѣченныя діагонали верхнихъ связей. Соотвѣтственно съ этимъ мы получаемъ разныя точки приложенія силъ X въ передней и задней фермахъ. Что касается направленія силъ, то, какъ усматривается изъ фиг. 6 и 7, силы передней и задней фермы направлены въ прямо противоположныя стороны. Усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ, соотвѣтствующія найденнымъ внѣшнимъ силамъ, удобнѣе всего опредѣлять съ помощью взаимныхъ діаграммъ усилій, тѣмъ болѣе, что во многихъ случаяхъ для обѣихъ фермъ требуется построеніе только одной діаграммы (см. фиг. 17, 18 и 19).

Фиг. 6. Передняя ферма (считая по вѣтру).



Фиг. 7. Задняя ферма (считая по вѣтру).



Фиг. 8.

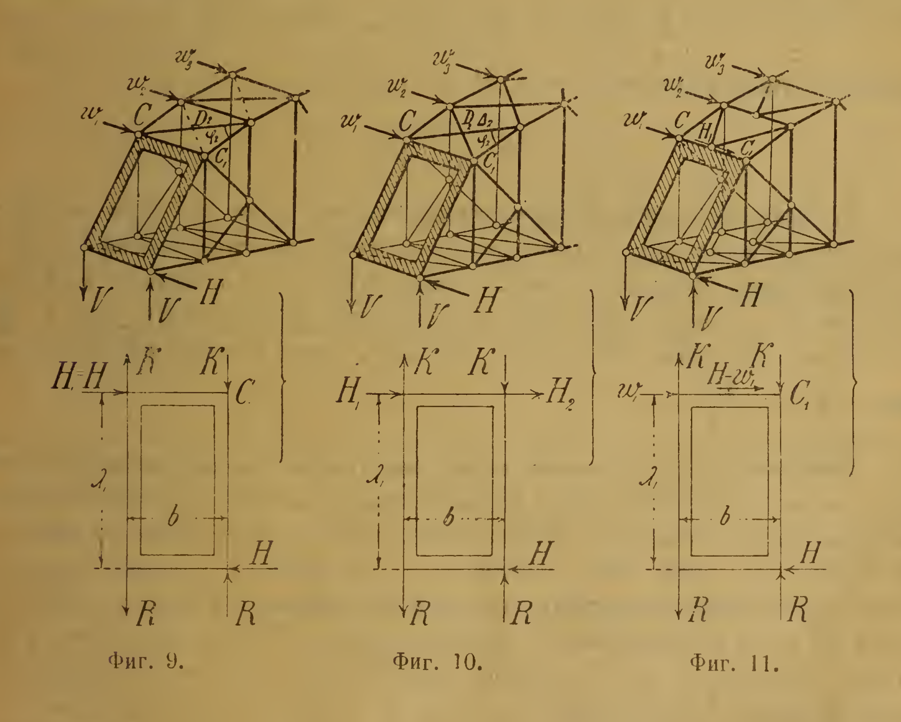
6. Внѣшнія силы, дѣйствующія на опорную раму.

Выяснимъ внѣшнія силы, дѣйствующія на опорную раму. Найденныя нами силы K и H_1 и показанныя на фиг. 5 представляютъ реакціи верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ, т. е. дѣйствіе опорныхъ рамъ на верхнія связи. Слѣдовательно, при разсмотрѣніи рамы намъ придется взять силы такой же величины, но обратно направленныя, чтобы получить силы, замѣняющія собой дѣйствіе верхнихъ связей на опорныя рамы. Въ опорныхъ узлахъ фермы на раму дѣйствуютъ составляющія опорныхъ реакцій, лежащія въ плоскости рамы, т. е. силы R и H. Для большей ясности, сквознымъ сѣченіемъ, проходящимъ черезъ верхніе шарниры C C_1 и разсѣкающимъ стержни нижняго пояса крайнихъ панелей, отдѣлимъ опорную раму отъ мостовой фермы, совмѣстимъ ее съ плоскостью чертежа и намѣтимъ всѣ силы, дѣйствующія въ ея плоскости (фиг. 8). Въ нашемъ примѣрѣ къ опорной рамѣ приложены шесть силъ, составляющихъ три пары: $R.b$, $K.b$ и $H.h$, причемъ:

$$R = \frac{\lambda_1}{h_1} \cdot \frac{\Sigma w.h}{2.b}, \quad K = \frac{\lambda_1}{h_1} \cdot \frac{\Sigma w.z}{2.b}, \quad H = H_1 = \frac{\Sigma w}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23).$$

На эти шесть силъ и должна быть разсчитана опорная рама. Какъ усматривается изъ формулъ (23), силы R и K зависятъ отъ угла наклона опорной рамы къ горизонту, отъ ширины моста b и отъ опрокидывающихъ моментовъ $\Sigma w.h$ и $\Sigma w.z$, разсчитанныхъ—первый относительно оси, проходящей черезъ опорные узлы фермы, а второй—относительно оси, проходящей черезъ верхнiе шарниры опорныхъ рамъ. Слѣдовательно, ни рѣшетка верхнихъ связей, ни рѣшетка главныхъ фермъ на величину внѣшнихъ силъ R и K никакого влiянiя не оказываютъ. Къ этому еще можно добавить, что силы K зависятъ исключительно отъ кривизны верхняго пояса, такъ какъ при параллельныхъ поясахъ, когда $\Sigma w.z = 0$, силы K исчезаютъ.

Влiянiе рѣшетки верхнихъ связей сказывается только на горизонтальной силѣ, дѣйствующей на верхнюю распорку рамы. Въ зависимости отъ устройства рѣшетки связей, къ верхней распоркѣ рамы приложены или двѣ силы, или одна. Различные случаи устройства рѣшетки верхнихъ связей и соотвѣтствующiя имъ силы, дѣйствующiя вдоль верхней распорки, показаны на фиг. 9, 10 и 11.



Фиг. 9. Фиг. 10. Фиг. 11.

1. Верхнiя связи изъ распорокъ и перекрестныхъ дiагоналей (фиг. 9). При устройствѣ связей изъ распорокъ и перекрестныхъ дiагоналей нежесткаго сѣченiя обыкновенно производятъ разсчетъ въ томъ предположенiи, что дiагонали работаютъ только на растяженiе, а распорки только на сжатiе,

причемъ изъ двухъ системъ діагоналей работаетъ та, которая при разсматриваемомъ направленіи вѣтра—растянута. При такомъ допущеніи горизонтальная реакція верхнихъ связей цѣликомъ передается переднему узлу C (фиг. 9), причемъ ея величина

$$H_1 = w_1 + D_2 . \sin \varphi_2 = w_1 + H - w_1 = H = \frac{\Sigma w}{2} \quad . \; . \; (24).$$

2. Верхнія связи двухрѣшетчатой системы (фиг. 10). Двухрѣшетчатая система безъ стоекъ—однажды статически неопредѣлима. Въ практикѣ принято ея разсчетъ производить путемъ разложенія на двѣ простыя треугольныя системы, нагружая каждую изъ нихъ силами, приложенными только въ ея узлахъ. Такимъ образомъ, на нагрузку верхнихъ связей работаютъ обѣ діагонали, примыкающія къ опорной рамѣ. Соотвѣтственно съ этимъ рама будетъ нагружена двумя горизонтальными силами H_1 и H_2, приложенными въ мѣстахъ примыканія діагоналей, причемъ:

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= w_1 + \Delta_2 . \sin \varphi_2 \\ H_2 &= D_2 . \sin \varphi_2 \end{aligned} \right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (25).$$

Но такъ какъ

$$\Delta_2 . \sin \varphi_2 + D_2 . \sin \varphi_2 = \frac{\Sigma w - 2\, w_1}{2},$$

то сумма горизонтальныхъ силъ H_1 и H_2 будетъ:

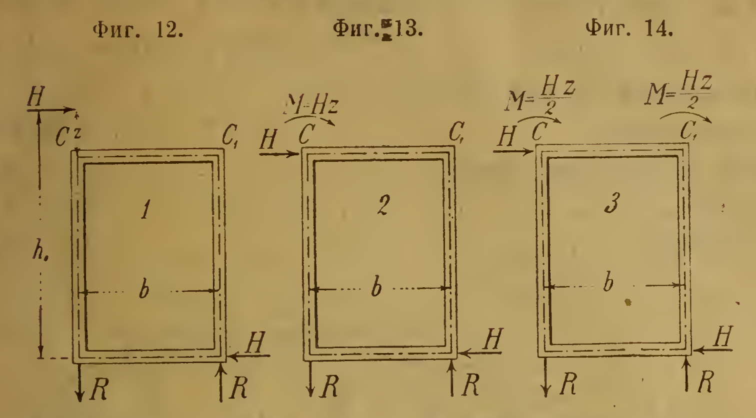
$$H_1 + H_2 = \frac{\Sigma w}{2} = H.$$

3. Горизонтальныя связи полураскосной системы (фиг. 11). При устройствѣ полураскосной системы горизонтальная нагрузка верхнихъ связей передается рамѣ главнымъ образомъ въ мѣстѣ примыканія двухъ полудіагоналей крайней панели, и только одна сила w_1 передается въ переднемъ узлѣ C (фиг. 11). Общая же сумма всѣхъ силъ, идущихъ вдоль верхней распорки, снова равна $H = \dfrac{\Sigma w}{2}$.

Замѣчаніе. Въ практикѣ очень часто вліяніе криволинейности верхняго пояса учитываютъ такъ. Горизонтальное давленіе верхнихъ связей на опорную раму, равное H, прикладываютъ не въ узлѣ рамы, а нѣсколько выше (фиг. 12), при чемъ разстояніе h_0 принимаютъ равнымъ разстоянію точки приложенія равнодѣйствующей горизонтальныхъ силъ w, дѣйствующихъ на узлы криволинейнаго верхняго пояса. Лучше однако отъ такого пріема отказаться, такъ какъ онъ легко ведетъ къ погрѣшностямъ и не соотвѣтствуетъ дѣйствительности.

Недостатокъ такого пріема состоитъ уже въ томъ, что приходится учитывать деформацію рамы отъ с и л ы, п р и л о ж е н н о й в н ѣ е я. Чтобы избѣжать указаннаго недостатка, силу H переносятъ въ узелъ C (фиг. 13) и, для компенсаціи переноса силы, въ узлѣ C добавляютъ пару, моментъ

которой $M = H.z$. Но теперь возникаетъ вопросъ, реагируетъ ли распорка



Ошибочныя рѣшенія вопроса о вліяніи криволинейности верхняго пояса на опорную раму.

CC_1 на моментъ M или же нѣтъ; есть случаи, когда вопросъ рѣшали въ томъ смыслѣ, что моментъ M цѣликомъ воспринимается верхней распоркой, иногда же силу H и моментъ M дѣлили пополамъ и одну половину прикладывали въ узлѣ C, а другую—въ узлѣ C_1 (фиг. 14).

Въ дѣйствительности сила H должна быть приложена къ верхней распоркѣ, а для учета криволинейности верхняго пояса надо въ верхнихъ узлахъ рамы приложить двѣ вертикальныя силы K (фиг. 8), которыя, какъ увидимъ ниже, не оказываютъ никакого вліянія на размѣры верхней распорки и измѣняютъ только продольныя усилія въ ногахъ рамы. Между тѣмъ какъ указанныя выше предположенія, дѣлаемыя въ практикѣ, ведутъ къ увеличенію изгибающаго момента распорки и, слѣдовательно, къ напрасному увеличенію ея поперечныхъ размѣровъ.

Правильное рѣшеніе вопроса о вліяніи криволинейности верхняго пояса на опорныя рамы впервые далъ инженеръ А. И. Толчинъ въ произведенномъ имъ изслѣдованіи, помѣщенномъ въ IV-мъ томѣ желѣзныхъ мостовъ профессора Е. О. Патона (стр. 189, 2-е изданіе 1909 г.).

Изложенныя общія соображенія пояснимъ на частныхъ примѣрахъ.

§ 2. Примѣры разсчета вѣтровыхъ усилій.

Первый примѣръ.

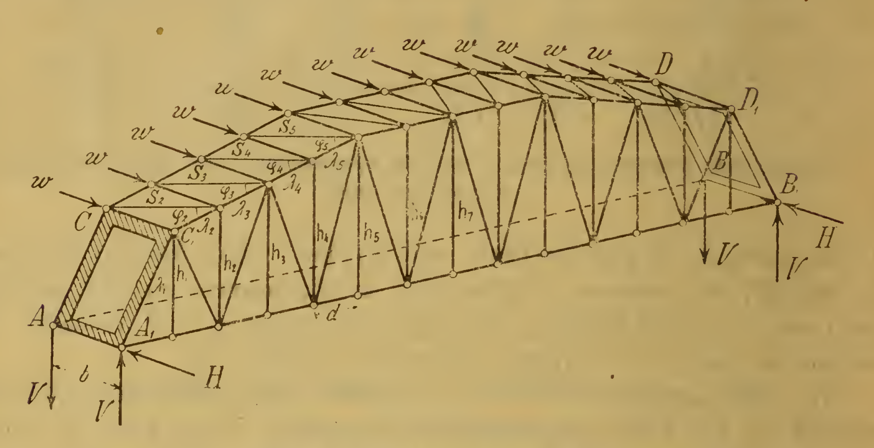
Желѣзнодорожный мостъ пролетомъ l=66,64 мт. съ полигональнымъ верхнимъ поясомъ и горизонтальнымъ нижнимъ (фиг. 15) нагруженъ горизонтальными силами, приложенными въ узлахъ верхнихъ связей изъ распорокъ и перекрестныхъ діагоналей нежесткаго сѣченія (фиг. 16). Требуется разсчитать усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ.

Для простоты примемъ равномѣрное распредѣленіе вѣтра (132 к. на кв. мт.) по длинѣ пролета, т. е. положимъ

$$w_1 = w_2 = w_3 = \ldots\ldots\ldots w = 277 \times 4{,}76 = 1318 \text{ кил.}$$

Основные размѣры:

Разсчетный пролетъ . . . . l = 66,64 метр.
Разстояніе между осями фермъ . . . . b = 5,6 „
Длина панели . . . . d = 4,76 „
Число панелей . . . . m = 14



Фиг. 15. Желѣзнодорожный мостъ.

Таблица. 1 Геометрическіе элементы фермы (фиг. 16).

Высоты стоекъ главныхъ фермъ h метр.	Длины стержней верхняго пояса λ метр.	Ординаты кривизны верхняго пояса $z_n = h_n - h_1$ метр.	Длины діагоналей верхнихъ связей ∂ метр.
h_1 = 7,500 метр.	λ_1 = 8,883 метр.	$z_1 = h_1 - h_1 = 0$	—
h_2 = 8,125 „	λ_2 = 4,801 „	$z_2 = h_2 - h_1 = 0{,}625$ метр.	∂_2 = 7,376 метр.
h_3 = 8,750 „	λ_3 = 4,801 „	$z_3 = h_3 - h_1 = 1{,}250$ „	∂_3 = 7,376 „
h_4 = 9,375 „	λ_4 = 4,801 „	$z_4 = h_4 - h_1 = 1{,}875$ „	∂_4 = 7,376 „
h_5 = 10,000 „	λ_5 = 4,801 „	$z_5 = h_5 - h_1 = 2{,}500$ „	∂_5 = 7,376 „
h_6 = 10,000 „	λ_6 = 4,760 „	$z_6 = h_6 - h_1 = 2{,}500$ „	∂_6 = 7,349 „
h_7 = 10,000 „	λ_7 = 4,760 „	$z_7 = h_7 - h_1 = 2{,}500$ „	∂_7 = 7,349 „

1. **Реакціи опоръ.** Въ разсматриваемомъ случаѣ и ферма, и дѣйствующая на нее нагрузка симметричны относительно середины, а потому опорныя реакціи сведутся къ шести силамъ: четыремъ вертикальнымъ V и двумъ

горизонтальнымъ H (фиг. 15). Каждая изъ горизонтальныхъ реакцій равна полусуммѣ приложенныхъ нагрузокъ:

$$H = 0{,}5 . \Sigma w = 0{,}5 \times 13\, w = 6{,}5 . w.$$

Вертикальныя реакціи V равны половинѣ опрокидывающаго момента раздѣленной на ширину моста b:

$$V = \frac{\Sigma w . h}{2\, b} = \frac{w}{b}\left(7{,}5+8{,}125+8{,}750+9{,}375+10{,}0+10{,}0+\frac{10{,}0}{2}\right) = \frac{w}{b} . 58{,}8.$$

Каждую изъ вертикальныхъ реакцій V раскладываемъ на двѣ составляющія, одна изъ которыхъ R лежитъ въ плоскости рамы и идетъ вдоль ноги, а другая T направлена вдоль нижняго пояса (см. фиг. 5); находимъ:

$$R = \frac{V}{\sin \alpha} = V . \frac{\lambda_1}{h_1} = \frac{w}{b} . 58{,}8 . \frac{8{,}883}{7{,}50} = \frac{w}{b} . 69{,}6$$

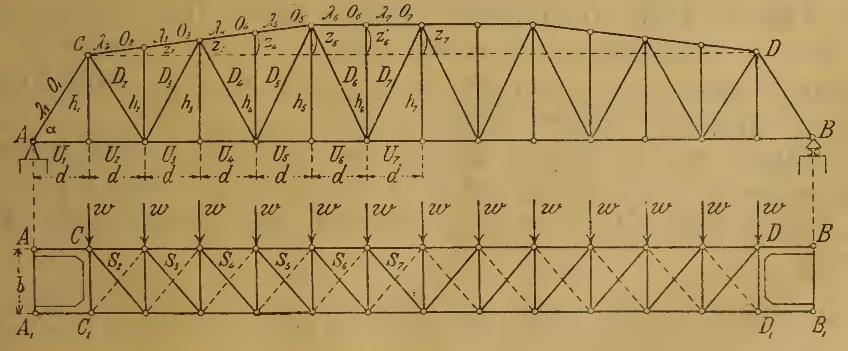
$$T = V . \operatorname{cotg} \alpha = V \frac{d}{h_1} = \frac{w}{b} . 58{,}8 . \frac{4{,}76}{7{,}50} = \frac{w}{b} . 37{,}2 = U_1.$$

Составляющія T, идущія вдоль нижняго пояса, въ передней фермѣ (считая по вѣтру) направлены къ серединѣ моста, а въ задней фермѣ— внаружу. Соотвѣтственно съ этимъ въ передней фермѣ стержни нижняго пояса, расположенные въ крайнихъ панеляхъ, будутъ сжаты, а въ задней —растянуты (фиг. 5 и фиг. 17 и 19).

2. Реакціи верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ. Силы w, приложенныя къ узламъ верхнихъ связей, стремятся сдвинуть верхнюю часть фермы въ горизонтальномъ направленіи. Этому сопротивляются шарниры опорныхъ рамъ. Въ шарнирахъ C и D, къ которымъ подходятъ крайнія діагонали верхнихъ связей, возникаютъ горизонтальныя реакціи

$$H_1 = 0{,}5 . \Sigma w = 0{,}5 . 13 . w = 6{,}5 . w = H.$$

Кромѣ горизонтальнаго сдвига, силы w еще даютъ опрокидывающій мо-



Фиг. 16. Фасадъ и планъ мостовой фермы.

ментъ относительно оси CD (фиг. 15). Реакціи K, соотвѣтствующія этому моменту и идущія вдоль ногъ опорныхъ рамъ, (см. форм. 20) будутъ:

$$K = \frac{\lambda_1}{h_1} \cdot \frac{\Sigma w . z}{2 . b} = \frac{w}{b} \cdot \frac{\lambda_1}{h_1} \left(z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5 + z_6 + \frac{z_7}{2} \right)$$

или, послѣ подстановки соотвѣтственныхъ значеній,

$$K = \frac{w}{b} \cdot \frac{8{,}883}{7{,}50} \left(0 + 0{,}625 + 1{,}250 + 1{,}875 + 2{,}50 + 2{,}50 + \frac{2{,}50}{2} \right) = \frac{w}{b} . 11{,}8.$$

3. Разсчетъ усилій въ діагоналяхъ верхнихъ связей. Поперечныя силы въ панеляхъ верхнихъ связей:

$$Q_2 = H - w = 6{,}5\, w - w = 5{,}5\, w$$

$$Q_3 = 5{,}5\, w - w = 4{,}5\, w$$

$$Q_4 = 4{,}5\, w - w = 3{,}5\, w$$

$$Q_5 = 3{,}5\, w - w = 2{,}5\, w$$

$$Q_6 = 2{,}5\, w - w = 1{,}5\, w$$

$$Q_7 = 1{,}5\, w - w = 0{,}5\, w$$

Усилія въ діагоналяхъ верхнихъ связей:

$$S_2 = \frac{Q_2}{\sin \varphi_2} = \frac{Q_2 . \partial_2}{b} = 5{,}5 . w . \frac{7{,}376}{b} = \frac{w}{b} . 40{,}6$$

$$S_3 = \frac{Q_3}{\sin \varphi_3} = \frac{Q_3 . \partial_3}{b} = 4{,}5 . w . \frac{7{,}376}{b} = \frac{w}{b} . 33{,}2$$

. . . .

$$S_7 = \frac{Q_7}{\sin \varphi_7} = \frac{Q_7 . \partial_7}{b} = 0{,}5 . w . \frac{7{,}349}{b} = \frac{w}{b} . 3{,}7.$$

4. Разсчетъ усилій въ стержняхъ главныхъ фермъ. Прежде всего находимъ силы X, приложенныя къ узламъ главныхъ фермъ, лежащія въ ихъ плоскости и равныя проекціямъ на плоскость главной фермы усилій въ стержняхъ рѣшетки верхнихъ связей.

Распорки связей перпендикулярны къ плоскости главной фермы, а потому проекціи ихъ усилій равны нулю. Что касается усилій въ діагоналяхъ, то ихъ проекціи на плоскость главной фермы имѣютъ слѣдующія величины:

$$X_2 = S_2 . \cos \varphi_2 = Q_2 . \operatorname{cotg} \varphi_2 = Q_2 . \frac{\lambda_2}{b} = 5{,}5 . w . \frac{4{,}801}{b} = \frac{w}{b} . 26{,}4$$

$$X_3 = S_3 . \cos \varphi_3 = Q_3 . \operatorname{cotg} \varphi_3 = Q_3 . \frac{\lambda_3}{b} = 4{,}5 . w . \frac{4{,}801}{b} = \frac{w}{b} . 21{,}6$$

$$X_4 = S_4 \cdot \cos\varphi_4 = Q_4 \cdot \operatorname{cotg}\varphi_4 = Q_4 \cdot \frac{\lambda_4}{b} = 3{,}5 \cdot w \cdot \frac{4{,}801}{b} = \frac{w}{b} \cdot 16{,}8$$

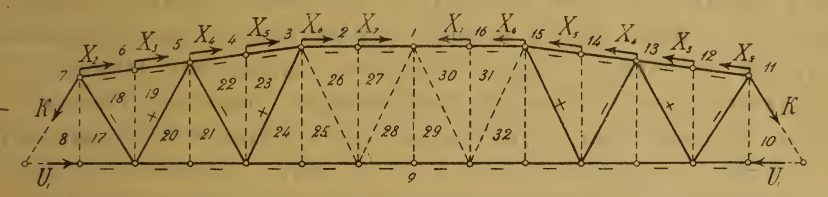
$$X_5 = S_5 \cdot \cos\varphi_5 = Q_5 \cdot \operatorname{cotg}\varphi_5 = Q_5 \cdot \frac{\lambda_5}{b} = 2{,}5 \cdot w \cdot \frac{4{,}801}{b} = \frac{w}{b} \cdot 12{,}0$$

$$X_6 = S_6 \cdot \cos\varphi_6 = Q_6 \cdot \operatorname{cotg}\varphi_6 = Q_6 \cdot \frac{\lambda_6}{b} = 1{,}5 \cdot w \cdot \frac{4{,}76}{b} = \frac{w}{b} \cdot 7{,}2$$

$$X_7 = S_7 \cdot \cos\varphi_7 = Q_7 \cdot \operatorname{cotg}\varphi_7 = Q_7 \cdot \frac{\lambda_7}{b} = 0{,}5 \cdot w \cdot \frac{4{,}76}{b} = \frac{w}{b} \cdot 2{,}4$$

Удаливъ опорныя рамы, остальную часть фермы продольнымъ сквознымъ сѣченіемъ разсѣкаемъ на двѣ половины и каждую изъ нихъ со всѣми на нее дѣйствующими силами проектируемъ на плоскость чертежа. Указанная операція приводитъ къ двумъ плоскимъ системамъ (фиг. 17 и 19), нагружен-

Фпг. 17. Передняя ферма (опорныя рамы удалены).



Фиг. 18. Діаграмма усилій для обѣихъ фермъ (3,1 тон. въ 1 см.).

Фиг. 19. Задняя ферма (считая по вѣтру).

нымъ силами, нами уже найденными, а именно: двумя силами K, приложенными къ верхнимъ шарнирамъ опорныхъ рамъ, двумя силами U_1, замѣняющими крайніе элементы нижняго пояса и группой силъ X, лежащихъ на контурѣ верхняго пояса. Силы K и U_1 въ обѣихъ фермахъ (передней и задней) приложены къ однимъ и тѣмъ же узламъ, между тѣмъ какъ точки приложенія силъ X въ обѣихъ фермахъ—различны. По направленію всѣ силы одной фермы прямо противоположны силамъ другой. Силы K, U_1 и X вызываютъ усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ, для опредѣленія которыхъ выстраиваемъ діаграмму усилій (фиг. 18). При обозначеніяхъ полей, вписанныхъ на фиг. 17 и 19, усилія въ стержняхъ передней и задней

фермы могутъ быть найдены по одной и той же діаграммѣ. Знаки усилій, найденные по діаграммѣ, вписаны для большей наглядности около каждаго стержня обѣихъ фермъ. Стержни, не имѣющіе усилій, показаны пунктирными линіями. Изъ фиг. 17 и 19 усматривается, что въ передней фермѣ (считая по вѣтру) оба пояса сжаты, между тѣмъ какъ въ задней фермѣ оба пояса растянуты, кромѣ двухъ стержней верхняго пояса, примыкающихъ къ опорнымъ рамамъ. На среднихъ участкахъ, гдѣ оба пояса параллельны, діагонали усилій не имѣютъ. Если бы оба пояса были параллельны по всей длинѣ, то ни въ одномъ изъ стержней рѣшетки главныхъ фермъ усилій не было бы.

Такимъ образомъ, благодаря криволинейному верхнему поясу въ упругой деформаціи мостовой фермы принимаютъ участіе не только элементы верхнихъ связей, но и рѣшетка главныхъ фермъ. Другими словами, криволинейность верхняго пояса привлекаетъ къ работѣ цѣлую серію стержней, которые остаются безъ работы при прямомъ поясѣ. Но чѣмъ большее число стержней примутъ участіе въ упругой деформаціи системы, тѣмъ усилія отдѣльныхъ стержней будутъ меньше. Слѣдовательно, при криволинейномъ поясѣ усилія въ поясахъ верхнихъ связей, вызываемыя давленіемъ вѣтра на криволинейный поясъ, должны быть меньше, чѣмъ при прямомъ. Найденныя по діаграммѣ (фиг. 18) вѣтровыя усилія и соотвѣтствующія нагрузкѣ $w = 1318$ кил. и ширинѣ моста $b = 5,6$ метр., выписаны въ нижеслѣдующей таблицѣ № 2. Изъ таблицы усматривается слѣдующее: 1) въ нижнихъ поясахъ и въ рѣшеткѣ главныхъ фермъ усилія обѣихъ фермъ одинаковы по величинѣ, но обратны по знаку и 2) усилія въ рѣшеткѣ главныхъ фермъ незначительны.

Таблица 2. Вѣтровыя усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ при полигональномъ верхнемъ поясѣ, въ тоннахъ (фиг. 15).

Верхній поясъ.			Нижній поясъ.			Діагонали главныхъ фермъ.		
	Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.
			U_1	— 8,80	+ 8,80			
O_2	— 3,30	— 2,82	U_2	— 8,80	+ 8,80	D_2	— 2,36	+ 2,36
O_3	— 8,50	+ 3,30	U_3	— 11,20	+ 11,20	D_3	+ 2,20	— 2,20
O_4	— 10,30	+ 6,35	U_4	— 11,20	+ 11,20	D_4	— 1,96	+ 1,96
O_5	— 13,20	+ 10,30	U_5	— 13,00	+ 13,00	D_5	+ 1,89	— 1,89
O_6	— 14,00	+ 12,20	U_6	— 13,00	+ 13,00	D_6	0	0
O_7	— 14,60	+ 13,90	U_7	— 13,00	+ 13.00	D_7	0	0

Вѣтровыя усилія верхняго пояса передней фермы и нижняго пояса задней имѣютъ такіе же знаки, какъ усилія отъ вертикальной нагрузки.

Слѣдовательно, при совмѣстномъ дѣйствіи вѣтра и вертикальной нагрузки указанные пояса окажутся наиболѣе нагруженными. Необходимо еще обращать вниманіе на нижній поясъ передней фермы, который отъ давленія вѣтра на мостовую ферму сжатъ, и изслѣдовать случай сильнаго вѣтра и отсутствія на мосту временной нагрузки, такъ какъ этому случаю соотвѣтствуютъ небольшія растягивающія усилія, а потому можетъ случиться, что вѣтровыя усилія возьмутъ перевѣсъ и нижній поясъ передней фермы окажется сжатымъ.

Если разсчитать верхнія связи, какъ сквозную балку, лежащую въ горизонтальной плоскости и имѣющую одинаковый пролетъ съ вертикальными фермами и найденныя такимъ образомъ усилія раздѣлить на косинусы угловъ, образуемыхъ стержнями съ горизонтомъ, то въ поясахъ верхнихъ связей получимъ усилія, значительно отличныя отъ найденныхъ нами и выписанныхъ въ таблицѣ 2.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ 3 для верхняго пояса передней фермы и нижняго пояса задней фермы выписаны вѣтровыя усилія, соотвѣтствующія двумъ способамъ разсчета верхнихъ связей, и для оцѣнки значенія погрѣшности найдено $^0/_0$ отношеніе разности вѣтровыхъ усилій, полученныхъ по двумъ способамъ разсчета, къ полному усилію отъ вертикальной нагрузки (постоянной и поѣзда 1907 года). На основаніи этой таблицы мы видимъ, что въ разсматриваемомъ примѣрѣ моста ($l = 66,64$ мт.) съ полигональнымъ верхнимъ поясомъ и наклонными опорными рамами (фиг. 15) более точный раз-

Таблица 3. Сравненіе двухъ способовъ разсчета вѣтровыхъ усилій,

Верхній поясъ передней фермы.						Нижній поясъ задней фермы.			
	Вѣтровыя усилія въ тоннахъ. по приближенному способу.	Вѣтровыя усилія въ тоннахъ. по таблицѣ 2.	Разница.	Усилія отъ полной вертик. нагрузки въ тон.	Отношеніе въ $^0/_0$.		Усилія отъ полной вертик. нагрузки въ тон.	Вѣтров. усилія по таблицѣ 2 въ тоннахъ.	Отношеніе въ $^0/_0$
						U_1	+ 129,0	+ 8,8	**6,8**
O_2	— 13,6	— 3,3	— 10,3	— 221,5	**4,6**	U_3	+ 129,0	+ 8,8	**6,8**
O_3	— 18,6	— 8,5	— 10,1	— 221,5	**4,6**	U_3	+ 281,5	+ 11,2	**4**
O_4	— 22,6	— 10,3	— 12,3	— 319,5	**3,8**	U_4	+ 281,5	+ 11,2	**4**
O_5	— 25,4	— 13,2	— 12,2	— 319,5	**3,8**	U_5	+ 332,0	+ 13,0	**3,9**
O_6	— 26,9	— 14,0	— 12,9	— 351,0	**3,7**	U_6	+ 332,0	+ 13,0	**3,9**
O_7	— 27,5	— 14,6	— 12,9	— 351,0	**3,7**	U_7	+ 355,0	+ 13,0	**3,7**

счетъ ведетъ къ пониженію усилій верхняго пояса до 5$^0/_0$ и къ повышенію усилій нижняго пояса до 7$^0/_0$ по отношенію къ усиліямъ отъ полной вертикальной нагрузки.

Такимъ образомъ, при криволинейномъ верхнемъ поясѣ количество матеріала, которое потребуется на пояса фермы, не зависитъ отъ способа разсчета вѣтровыхъ усилій, но при болѣе точномъ разсчетѣ послѣднихъ требуется лишь нѣсколько иное его распредѣленіе, а именно: усиленіе нижняго пояса за счетъ верхняго.

Примѣръ второй.

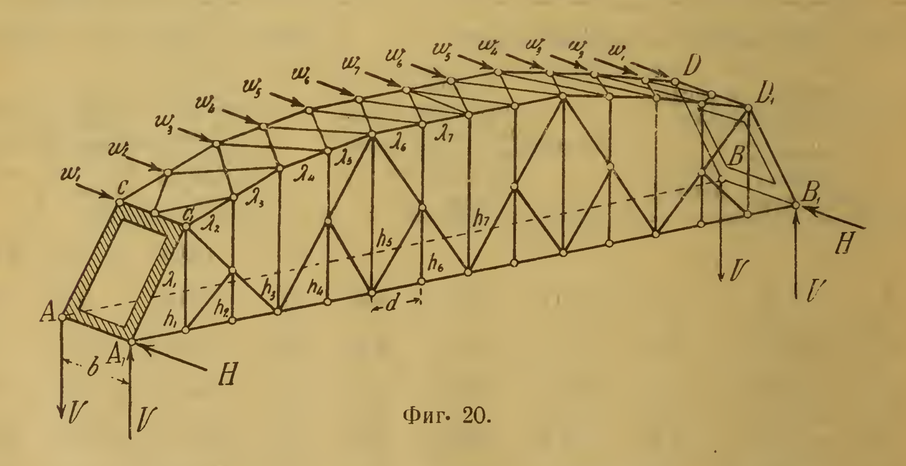
Въ качествѣ второго примѣра разсмотримъ желѣзнодорожный мостъ большого пролета съ продольными связями двухрѣшетчатой системы и найдемъ вѣтровыя усилія въ элементахъ главныхъ фермъ отъ давленія вѣтра на верхніе узлы (фиг. 20). Хотя нагрузки среднихъ узловъ нѣсколько больше, чѣмъ крайнихъ, но для простоты примемъ:

$$w_1 = w_2 = w_3 = \ldots\ldots\, w_7 = w,$$

т. е. предположимъ равномѣрное распредѣленіе вѣтра по длинѣ пролета.

Основные размѣры:

Разсчетный пролетъ фермы	$l = 92{,}12$ метр.
Разстояніе между фермами	$b = 5{,}90$ „
Длина панели	$d = 6{,}58$ „
Число панелей	$m = 14$ „



Фиг. 20.

Поверхность обѣихъ фермъ, подверженную дѣйствію вѣтра, принимаемъ 0,40 площади, ограниченной контуромъ одной фермы:

$$F = 0{,}40 \,.\, \omega = 0{,}40 \times 1100 = 440 \text{ метр.}^2.$$

Давленіе вѣтра на боковую поверхность обѣихъ фермъ предпологаемъ распредѣленнымъ поровну между верхними и нижними связями; слѣдова-

Таблица 4. Геометрическіе элементы фермы (фиг. 20).

Высоты стоекъ главныхъ фермъ h метр.	Длины стержней верхняго пояса λ метр.	Ординаты кривизны верхняго пояса $z_n = h_n - h_1$ метр.	Длины діагоналей верхнихъ связей d метр.
$h_1 =$ 8.50 метр.	$\lambda_1 =$ 10,749 метр.	$z_1 = h_1 - h_1 =$ 0 метр.	
$h_2 =$ 10,75 „	$\lambda_2 =$ 6,954 „	$z_2 = h_2 - h_1 =$ 2,25 „	$d_2 =$ 7,55 метр.
$h_3 =$ 13,00 „	$\lambda_3 =$ 6,954 „	$z_3 = h_3 - h_1 =$ 4,50 „	$d_3 =$ 9,12 „
$h_4 =$ 14,00 „	$\lambda_4 =$ 6,656 „	$z_4 = h_4 - h_1 =$ 5,50 „	$d_4 =$ 8,89 „
$h_5 =$ 15,00 „	$\lambda_5 =$ 6,656 „	$z_5 = h_5 - h_1 =$ 6,50 „	$d_5 =$ 8,89 „
$h_6 =$ 15,00 „	$\lambda_6 =$ 6,580 „	$z_6 = h_6 - h_1 =$ 6,50 „	$d_6 =$ 8,84 „
$h_7 =$ 15,00 „	$\lambda_7 =$ 6,580 „	$z_7 = h_7 - h_1 =$ 6,50 „	$d_7 =$ 8,84 „

тельно, давленіе на узелъ верхнихъ связей, при вѣтрѣ въ 132 кил. на кв. метръ, будетъ:

$$w = \frac{440}{2 \times 14} \times 132 = 2080 \text{ кил.}$$

1. Реакціи опоръ. Такъ же, какъ и въ первомъ примѣрѣ, въ виду симметріи фермы и дѣйствующей на нее нагрузки, опорныя реакціи сводятся къ шести силамъ (фиг. 20): четыремъ вертикальнымъ V и двумъ горизонтальнымъ H, при чемъ:

$$H = 0{,}5 \, . \Sigma w = 0{,}5 \, . \, 13 \, . \, w = 6{,}5 \, w,$$

$$V = \frac{\Sigma w \, h}{2b} = \frac{w}{b} \left(8{,}50 + 10{,}75 + 13{,}0 + 14{,}0 + 15{,}0 + 15{,}0 + \frac{15{,}0}{2}\right) = \frac{w}{b} \, .83{,}75.$$

Каждую изъ вертикальныхъ реакцій раскладываемъ на двѣ составляющія R и T, изъ которыхъ первая лежитъ въ плоскости рамы и идетъ вдоль ноги, а вторая направлена вдоль нижняго пояса; находимъ:

$$R = V . \frac{\lambda_1}{h_1} = \frac{w}{b} . 83{,}75 . \frac{10{,}749}{8{,}50} = 106 . \frac{w}{b},$$

$$T = V . \frac{d}{h_1} = \frac{w}{b} . 83{,}75 . \frac{6{,}58}{8{,}50} = 64{,}8 \frac{w}{b} = U_1$$

Составляющія T равны усиліямъ U_1, возникающимъ въ стержняхъ нижняго пояса крайнихъ панелей, при чемъ стержни передней фермы (считая по вѣтру)—сжаты, а стержни задней фермы—растянуты.

2. Реакціи верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ. Горизонтальная реакція въ узлѣ примыканія полудіагоналей связей къ распоркѣ рамы:

$$H_1 = w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + \frac{w_7}{2} = \frac{\Sigma w}{2} - w_1 = 6{,}5 \, w - w = 5{,}5 \, w.$$

Опрокидывающій моментъ, равный $\Sigma w . z$, въ верхнихъ шарнирахъ опорныхъ рамъ вызываетъ реакціи K, идущія вдоль ногъ опорныхъ рамъ. Величина K зависитъ отъ ширины моста и угла наклона опорной рамы къ горизонту; по формулѣ (20) имѣемъ:

$$K = \frac{\lambda_1}{h_1} \cdot \frac{\Sigma w . z}{2 . b} = \frac{w}{b} \cdot \frac{\lambda_1}{h_1} \left(z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5 + z_6 + \frac{z_7}{2} \right)$$

или, послѣ подстановки соотвѣтственныхъ значеній,

$$K = \frac{w}{b} \cdot \frac{10{,}749}{8{,}50} \left(0 + 2{,}25 + 4{,}50 + 5{,}50 + 6{,}50 + 6{,}50 + \frac{6{,}50}{2} \right) = 36{,}2 \cdot \frac{w}{b} .$$

3. Разсчетъ усилій въ діагоналяхъ верхнихъ связей. Діагонали верхнихъ связей разбиваемъ на два зигзага (фиг. 21 и 22). Усилія въ діагоналяхъ верхняго зигзага обозначимъ черезъ $D_2\, D_3\, D_4\, D_5\, D_6\, D_7$, а усилія въ діагоналяхъ нижняго зигзага обозначимъ черезъ $\Delta_2\, \Delta_3\, \Delta_4\, \Delta_5\, \Delta_6\, \Delta_7$. Углы, образуемые діагоналями связей съ элементами верхняго пояса пусть будутъ $\varphi_2\, \varphi_3\, \varphi_4\, \varphi_5\, \varphi_6\, \varphi_7$.

Благодаря устройству полудіагоналей въ крайнихъ панеляхъ, поперечная сила, возникающая на опорѣ связей, т. е. въ мѣстѣ примыканія полудіагоналей къ распоркѣ рамы, разбивается на двѣ части, одна изъ которыхъ воспринимается верхнимъ зигзагомъ (фиг. 21), а другая—нижнимъ зигзагомъ (фиг. 22). Разсматривая каждый зигзагъ въ отдѣльности съ дѣйствующими на него силами, мы получаемъ усилія въ діагоналяхъ верхнихъ связей по величинѣ поперечной силы, дѣйствующей въ соотвѣтствующей панели зигзага, и въ зависимости отъ угла наклона діагонали къ верхнему поясу.

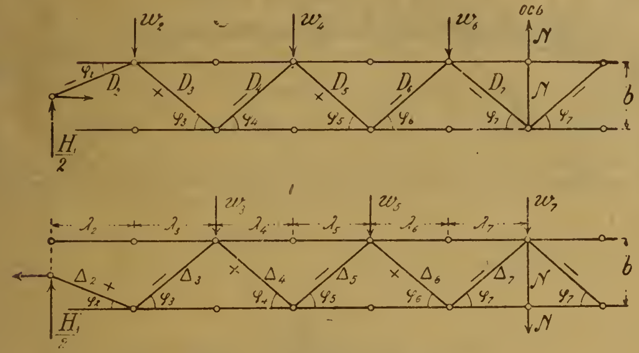
Таблица 5. Усилія въ діагоналяхъ верхнихъ связей (фиг. 20)

Усилія діагоналей верхняго зигзага (фиг. 21).	Усилія діагоналей нижняго зигзага (фиг. 22).
$D_2 = \frac{H_1}{2 . \sin \varphi_2}$ . . . . сжатіе	$\Delta_2 = \frac{H_1}{2 \sin \varphi_2}$ . . . . растяженіе
$D_3 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2 \right) \cdot \frac{1}{\sin \varphi_3}$ растяженіе	$\Delta_3 = \frac{H_1}{2 \sin \varphi_3}$ . . . . сжатіе
$D_4 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2 \right) \frac{1}{\sin \varphi_4}$ . . . . сжатіе	$\Delta_4 = \left(\frac{H_1}{2} - w_3 \right) \frac{1}{\sin \varphi_4}$. растяженіе
$D_5 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2 - w_4 \right) \frac{1}{\sin \varphi_5}$. растяженіе	$\Delta_5 = \left(\frac{H_1}{2} - w_3 \right) \cdot \frac{1}{\sin \varphi_5}$ . . . . сжатіе
$D_6 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2 - w_4 \right) \frac{1}{\sin \varphi_6}$ . . . сжатіе	$\Delta_6 = \left(\frac{H_1}{2} - w_3 - w_5 \right) \cdot \frac{1}{\sin \varphi_6}$ растяженіе
$D_7 = - \left(\frac{H_1}{2} - w_2 - w_4 - w_6 \right) \frac{1}{\sin \varphi_7}$ сжатіе	$\Delta_7 = \left(\frac{H_1}{2} - w_3 - w_5 \right) \cdot \frac{1}{\sin \varphi_7}$ . . сжатіе

Усиліе средней распорки N можетъ быть получено изъ условія равновѣсія одного изъ примыкающихъ къ ней узловъ, или же непосредственно изъ равновѣсія какого либо зигзага:

$$N = 2\,w_2 + 2\,w_4 + 2w_6 - H_1 \text{ (растяженіе).}$$

Фиг. 21. Верхній зигзагъ.



Фиг. 22. Нижній зигзагъ.

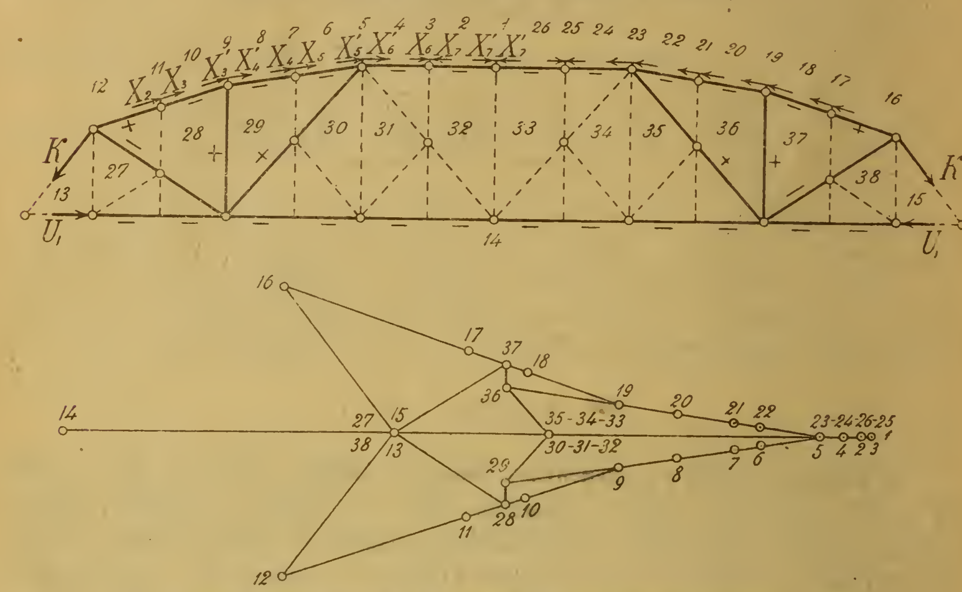
4. Разсчетъ усилій въ элементахъ главныхъ фермъ. По усиліямъ діагоналей D и Δ находимъ силы X, приложенныя къ узламъ главныхъ фермъ, лежащія въ ихъ плоскости и замѣняющія дѣйствіе разсѣченныхъ діагоналей верхнихъ связей. Силы X равны усиліямъ діагоналей, умноженнымъ на cos. угла φ, образуемаго діагоналями съ элементами верхнихъ поясовъ. Найденныя значенія выписаны въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Таблица 6. Силы X и X', соотвѣтствующія діагоналямъ верхнихъ связей.

Силы X, соотвѣтствующія діагоналямъ верхняго зигзага. $X = D\cos.\varphi$	Сила X', соотвѣтствующія діагоналямъ нижняго зигзага. $X^1 = \Delta . \cos\varphi$
$X_2 = H_1 \cdot \frac{\lambda_2}{b} = 38{,}2\frac{w}{b}$	$X'_2 = H_1 \cdot \frac{\lambda_2}{b} = 38{,}2\frac{w}{b}$
$X_3 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2\right) \cdot \frac{\lambda_3}{b} = 12{,}2\frac{w}{b}$	$X'_3 = H_1 \cdot \frac{\lambda_3}{2 . b} = 19{,}1\frac{w}{b}$
$X_4 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2\right) \cdot \frac{\lambda_4}{b} = 11{,}6\frac{w}{b}$	$X'_4 = \left(\frac{H_1}{2} - w_3\right) \cdot \frac{\lambda_4}{b} = 11{,}6\frac{w}{b}$
$X_5 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2 - w_4\right) \cdot \frac{\lambda_5}{b} = 5{,}0\frac{w}{b}$	$X'_5 = \left(\frac{H_1}{2} - w_3\right) \cdot \frac{\lambda_5}{b} = 11{,}6\frac{w}{b}$
$X_6 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2 - w_4\right) \cdot \frac{\lambda_6}{b} = 4{,}9\frac{w}{b}$	$X'_6 = \left(\frac{H_1}{2} - w_3 - w_5\right) \cdot \frac{\lambda_6}{b} = 4{,}9\frac{w}{b}$
$X_7 = -\left(\frac{H_1}{2} - w_2 - w_4 - w_6\right) \cdot \frac{\lambda_7}{b} = 1{,}6\frac{w}{b}$	$X'_7 = \left(\frac{H_1}{2} - w_3 - w_5\right) \cdot \frac{\lambda_7}{b} = 4{,}9\frac{w}{b}$.

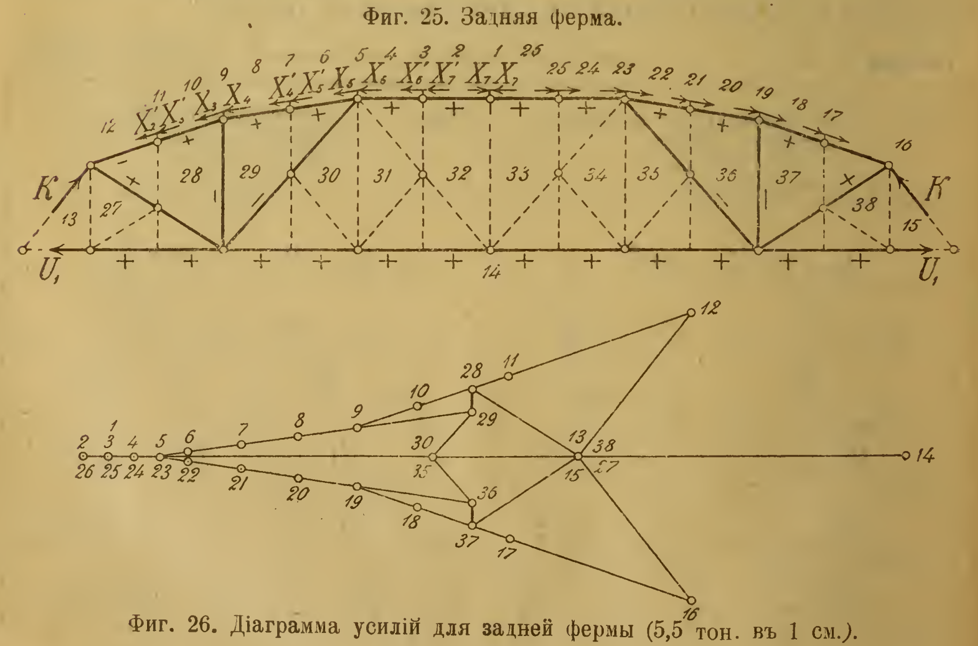
Отбросивши опорныя рамы, остальную часть мостовой фермы продольнымъ сѣченіемъ разсѣкаемъ на двѣ половины и каждую изъ нихъ со всѣми на нее дѣйствующими силами проектируемымъ на плоскость чертежа. Въ результатѣ получаемъ двѣ плоскія фермы (фиг. 23 и 25), нагруженныя слѣдующими силами: двумя силами K, приложенными къ верхнимъ шарнирамъ

Фиг. 23. Передняя ферма (считая по вѣтру).



Фиг. 24. Діаграмма усилій для передней фермы (5,5 тон. въ 1 см.).

Фиг. 25. Задняя ферма.



Фиг. 26. Діаграмма усилій для задней фермы (5,5 тон. въ 1 см.).

опорныхъ рамъ, двумя силами U_1, замѣняющими собой крайніе элементы нижняго пояса и двумя группами силъ X и X', расположенныхъ по контуру верхняго пояса и приложенныхъ въ тѣхъ узлахъ, къ которымъ подходили разсѣченныя діагонали верхнихъ связей.

Для каждой фермы выстроены взаимныя діаграммы (фиг. 24 и 26), опредѣляющія вѣтровыя усилія во всѣхъ стержняхъ главныхъ фермъ. Стержни съ нулевыми усиліями на схемахъ отмѣчены пунктирными линіями. Знаки усилій, для большей наглядности, выписаны рядомъ съ соотвѣтственными стержнями на схемахъ обѣихъ фермъ.

Во всѣхъ стержняхъ передней и задней фермы усилія обратны по знаку. Пояса передней фермы сжаты, а пояса задней—растянуты, за исключеніемъ двухъ крайнихъ стержней верхняго пояса обѣихъ фермъ, усилія которыхъ имѣютъ обратные знаки.

Усилія стержней, измѣренныя по діаграммамъ и соотвѣтствующія значеніямъ: $w = 2080$ кил. и $b = 5{,}90$ мт., выписаны въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Таблица 7. Вѣтровыя усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ (фиг. 20), въ тоннахъ.

Верхній поясъ.			Нижній поясъ.			Діагонали и стойки.		
	Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.
			U_1	— 22,8	+ 22,8	D_1	— 9,2	+ 9,2
O_2	+ 16,2	— 16,2	U_2	— 22,8	+ 22,8	D_2	+ 4,6	— 4,6
O_3	— 1,4	+ 4,1	U_3	— 22,8	+ 22,8	D_3	0	0
O_4	— 12,3	+ 12,3	U_4	— 33,7	+ 33,7	V_1	0	0
O_5	— 17,8	+ 20,1	U_5	— 33,7	+ 33,7	V_2	+ 1,6	— 1,6
O_6	— 20,5	+ 20,5	U_6	— 33,7	+ 33,7	V_3	0	0
O_7	— 22,4	+ 24,4	U_7	— 33,7	+ 33,7	V_4	0	0

Въ нижнихъ поясахъ и въ діагоналяхъ обѣихъ фермъ усилія имѣютъ равныя величины обратнаго знака.

Для сравненія найденныхъ значеній, произведемъ разсчетъ верхнихъ связей по способу, очень часто примѣняемому въ практикѣ. Опорныя рамы замѣнимъ полураскосами и разсмотримъ верхнія связи, какъ горизонтальную ферму съ пролетомъ, равнымъ пролету моста ($l = 92{,}12$ мт.); найденныя такимъ образомъ усилія раздѣлимъ на косинусы угловъ наклона элементовъ связей къ горизонту. При такомъ способѣ разсчета усилія въ стержняхъ верхняго пояса передней фермы будутъ имѣть значенія,

выписанныя въ первой графѣ нижеслѣдующей таблицы 8. Во второй графѣ той же таблицы помѣщены усилія изъ таб. 7 и найденныя по діаграммѣ (фиг. 24). Въ четвертой графѣ приведены усилія тѣхъ же стержней отъ полной вертикальной нагрузки (собст. вѣса и поѣзда 1907 г.), составляющей 6600 кил. на погонный метръ фермы. И наконецъ, въ послѣдней графѣ таблицы выписано $^0/_0$ отношеніе разницы вѣтровыхъ усилій, разсчитанныхъ по двумъ способамъ, къ усиліямъ отъ полной вертикальной нагрузки.

Таблица 8. Сравненіе двухъ способовъ разсчета.

	Вѣтровыя усилія по приближен. способу разсчета.	Вѣтровыя усилія по діаграммѣ (фиг. 24).	Разница.	Усилія отъ полной вертикальной нагрузки.	$^0/_0$
O_2	— 15,9 тон.	+ 16,2 тон.	— 32,1 тон.	— 382 тон.	**8,4**
O_3	— 35,2 „	— 1,4 „	— 33,8 „	— 382 „	**8,9**
O_4	— 43,2 „	— 12,3 „	— 30,9 „	— 367 „	**8,4**
O_5	— 50,2 „	— 17,8 „	— 32,4 „	— 367 „	**8,8**
O_6	— 54,1 „	— 20,5 „	— 33,6 „	— 465 „	**7,2**
O_7	— 56,4 „	— 22,4 „	— 34,0 „	— 465 „	**7,3**

Сравнивая цифры первыхъ двухъ графъ, мы видимъ, что приближенный разсчетъ верхнихъ связей искажаетъ вѣтровыя усилія въ нѣсколько разъ и даже можетъ измѣнить знакъ усилія, какъ, напримѣръ, въ стержнѣ O_2, примыкающемъ къ опорной рамѣ. По приближенному способу разсчета стержень O_2 сжатъ усиліемъ 15,9 тон., между тѣмъ какъ въ дѣйствительности этотъ стержень работаетъ на растяженіе 16,2 тон. Послѣдняя графа таблицы показываетъ, что ошибка въ вѣтровыхъ усиліяхъ, найденныхъ по приближенному способу разсчета, оцѣнивается примѣрно въ 8 $^0/_0$ по отношенію къ усиліямъ отъ полной вертикальной нагрузки.

Точность разсчета. Въ практикѣ очень часто при выполненіи разсчета стремятся выполнить ариѳметическія дѣйствія съ излишней точностью. Встрѣчаются случаи, когда усилія въ элементахъ фермы выражаются съ точностью до килограмма, между тѣмъ въ самомъ способѣ разсчета нерѣдко кроется не малая неточность. Разсмотрѣнный примѣръ показываетъ, что криволинейность пояса можетъ повести къ ошибкѣ до 8$^0/_0$, а если принять во вниманіе, что въ основѣ разсчета лежитъ рядъ грубыхъ допущеній, какъ напримѣръ, предположеніе о шарнирности узловъ, о распредѣленіи вѣтровой нагрузки между системами связей и др., то станетъ ясно, что отъ излишней точности въ ариѳметикѣ слѣдуетъ отказаться и

1) всѣ разсчеты вести съ помощью логариѳмической линейки.
2) по эквивалентнымъ нагрузкамъ, а не по сосредоточеннымъ.

Частные случаи.

Изслѣдованіе, произведенное для случая криволинейнаго пояса и наклонныхъ опорныхъ рамъ, позволяетъ перейти къ разсмотрѣнію слѣдующихъ трехъ частныхъ случаевъ:

I. Ферма съ криволинейнымъ верхнимъ поясомъ и вертикальными опорными рамами,

II. Ферма съ параллельными поясами и наклонными опорными рамами и

III. Ферма съ параллельными поясами и вертикальными опорными рамами.

§ 3. Фермы съ криволинейнымъ верхнимъ поясомъ и вертикальными опорными рамами (фиг. 30).

Реакціи опоръ. Горизонтальныя реакціи не зависятъ отъ расположенія опорныхъ рамъ; онѣ имѣютъ такую же величину, какъ и при наклонныхъ рамахъ:

$$H = 0{,}5.\Sigma w \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (26).$$

Вертикальныя реакціи опоръ лежатъ въ плоскости опорныхъ рамъ и въ случаѣ симметричной фермы, симметрично нагруженной, имѣютъ одинаковыя величины, а именно:

$$V = \frac{\Sigma w.h}{2.b} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (27).$$

Такъ какъ вертикальныя реакціи опоръ лежатъ въ плоскости опорныхъ рамъ, составляющихъ T, идущихъ вдоль нижнихъ поясовъ, какъ это имѣетъ мѣсто при наклонныхъ рамахъ (фиг. 5), нѣтъ. Слѣдовательно, при вертикальныхъ опорныхъ рамахъ, нижніе пояса фермы не получаютъ добавочныхъ усилій, зависящихъ отъ наклона рамъ.

Въ дальнѣйшемъ изложеніи различаемъ три основныхъ случая, въ зависимости отъ расположенія раскосовъ въ крайнихъ паняляхъ главныхъ фермъ, а именно: случай нисходящихъ раскосовъ (фиг. 27), примыкающихъ къ верхнимъ узламъ опорныхъ рамъ, случай восходящихъ раскосовъ, подходящихъ къ нижнимъ узламъ рамъ (фиг. 30) и въ третьихъ, случай расположенія въ крайнихъ паняляхъ главныхъ фермъ полураскосовъ (фиг. 33).

1-й случай. Нисходящіе раскосы въ крайнихъ панеляхъ главныхъ фермъ (фиг. 27). Обратимся къ фиг. 5 и будемъ постепенно увеличивать уголъ наклона опорныхъ рамъ къ горизонту, уменьшая длину крайнихъ стержней нижняго пояса. Пока рамы сохранятъ къ горизонту наклонъ, реакціи верхнихъ ихъ шарнировъ будутъ опредѣляться по формулѣ (20); но въ тотъ

моментъ, когда рамы займутъ положенія первыхъ вертикальныхъ стоекъ h_1, будемъ имѣть:

$$\lambda_1 = h_1$$

и реакціи верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ будутъ:

$$\left.\begin{aligned} K &= \frac{\Sigma w z}{2.b} \\ H_1 &= 0{,}5.\Sigma w = H \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (28).$$

Реакціи K лежатъ въ плоскости опорныхъ рамъ, слѣдовательно, будутъ вертикальны, а реакція H_1 идетъ вдоль верхней распорки и приложена въ томъ ея мѣстѣ, куда подходятъ діагонали крайнихъ панелей верхнихъ связей (фиг. 9, 10 и 11).

Примѣръ.

Чтобы на частномъ примѣрѣ оцѣнить вліяніе наклонныхъ опорныхъ рамъ, возьмемъ мостовую ферму (фиг. 15) и разсчитаемъ вѣтровыя усилія въ томъ предположеніи, что ферма несетъ ту же нагрузку, а опорныя рамы занимаютъ положенія вертикальныхъ стоекъ h_1 (фиг. 27 и 28). При такомъ условіи система верхнихъ связей остается безъ измѣненія и соотвѣтственно съ этимъ и усилія въ діагоналяхъ верхнихъ связей, а слѣдовательно, останутся безъ измѣненія и сила X, лежащія на контурѣ верхнихъ поясовъ (см. фиг. 17 и 19).

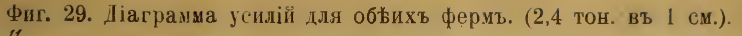
Реакціи K верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ будутъ:

$$K = \frac{\Sigma w.z}{2.b} = \frac{w}{b}\left(0+0{,}625+1{,}250+1{,}875+2{,}50+2{,}50+\frac{2{,}50}{2}\right) = 10\,\frac{w}{b}.$$

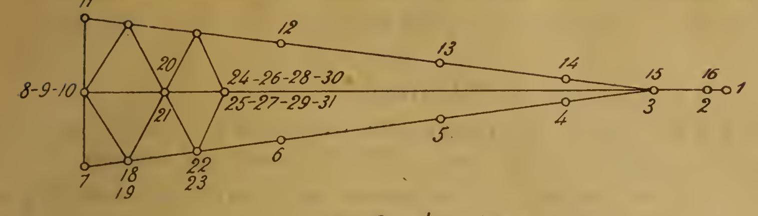
Силы U_1, показанныя на фиг. 17 и 19, въ разбираемомъ случаѣ (фиг. 27 и 28) исчезнутъ, такъ какъ составляющія опорныхъ реакцій, идущія вдоль нижнихъ поясовъ, равны нулю.

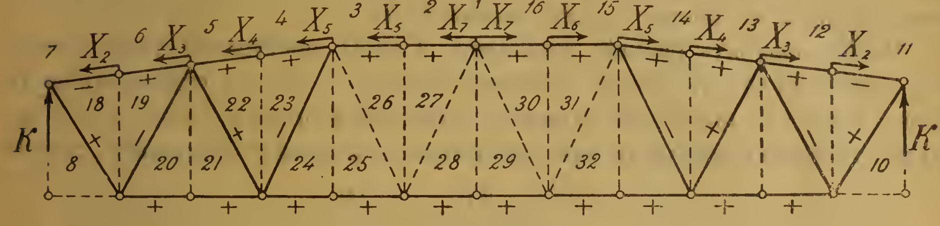
Опредѣленіе вѣтровыхъ усилій въ стержняхъ обѣихъ главныхъ фермъ (фиг. 27 и 28) выполнено съ помощью одной діаграммы (фиг. 29). Найденныя по діаграммѣ усилія выписаны въ нижеслѣдующей таблицѣ 9 и соотвѣтствуютъ нагрузкѣ $w = 1318$ клг. и ширинѣ моста $b = 5{,}6$ метр. Сравнивая значенія усилій таблицъ 9 и 2, приходимъ къ слѣдующему заключенію: наклонныя опорныя рамы очень мало вліяютъ на вѣтровыя усилія верхнихъ поясовъ

Фиг. 27. Передняя ферма.



Фиг. 29. Діаграмма усилій для обѣихъ фермъ. (2,4 тон. въ 1 см.).





Фнг. 28. Задняя ферма.

и рѣшетки главныхъ фермъ, а главнымъ образомъ увеличиваютъ усилія въ нижнихъ поясахъ, при чемъ это увеличеніе примѣрно оцѣнивается величиной опорной реакціи T, идущей вдоль нижняго пояса и въ нашемъ примѣрѣ равной 8,80 тон. При вертикальныхъ опорныхъ рамахъ (фиг. 27 и 28) усилія всѣхъ стержней нижняго пояса

Таблица 9. Вѣтровыя усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ при полигональномъ верхнемъ поясѣ и вертикальныхъ рамахъ; въ тоннахъ.

Верхній поясъ.			Нижній поясъ.			Діагонали главныхъ фермъ.		
	Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.
O_2	— 4,9	— 1,4	U	0	0	D_2	— 2,6	+ 2,6
O_3	— 9,9	+ 4,9	U_3	— 2,50	+ 2,50	D_3	+ 2,4	— 2,4
O_4	— 11,7	+ 7,7	U_4	— 2,50	+ 2,50	D_4	— 2,1	+ 2,1
O_5	— 14,5	+ 11,7	U_5	— 4,36	+ 4,36	D_5	+ 2,0	— 2,0
O_6	— 15,1	+ 13,5	U_6	— 4,36	+ 4,36	D_6	0	0
O_7	— 15,7	+ 15,1	U_7	— 4,36	+ 4,36	D_7	0	0

оказываются примѣрно на 8,80 тон. меньше усилій тѣхъ же стержней, но найденныхъ при наклонныхъ опорныхъ рамахъ (фиг. 17 и 19).

2 случай. Восходящіе раскосы въ крайнихъ панеляхъ главныхъ фермъ.

Въ случаѣ восходящихъ крайнихъ раскосовъ (фиг. 30) условія работы опорныхъ рамъ будутъ нѣсколько иныя, чѣмъ при нисходящихъ крайнихъ раскосахъ.

Реакціи опоръ не зависятъ отъ расположенія рѣшетки, а потому по-

прежнему имѣемъ:

$$V = \frac{\Sigma w\, h}{2\, b}$$

$$H = 0{,}5 . \Sigma w.$$

Реакціи верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ не имѣютъ составляющихъ, идущихъ вдоль ногъ. Изъ равновѣсія узловъ C_1 и D_1 (фиг. 30) слѣдуетъ, что усилія въ стержняхъ верхняго пояса задней фермы, примыкающихъ къ опорной рамѣ, равны нулю.

Чтобы получить реакціи шарнировъ C и D, поступаемъ такъ. Сквозными сѣченіями черезъ первую, вторую, третью... панели отдѣляемъ части фермы и всѣ на нихъ дѣйствующія силы проектируемъ на ось $C\,C_1$; въ результатѣ такой операціи мы найдемъ усилія въ діагоналяхъ верхнихъ связей:

$$S_1 = \frac{H - w_1}{\sin \varphi_1} = \frac{Q_1}{\sin \varphi_1}$$

$$S_2 = \frac{H - w_1 - w_2}{\sin \varphi_2} = \frac{Q_2}{\sin \varphi_2}$$

. . . .

Реакціи шарнировъ C и D направлены вдоль верхнихъ распорокъ и имѣютъ слѣдующія величины:

$$H_1 = w_1 + S_1 . \sin \varphi_1 = w_1 + H - w_1 = H.$$

Фиг. 30

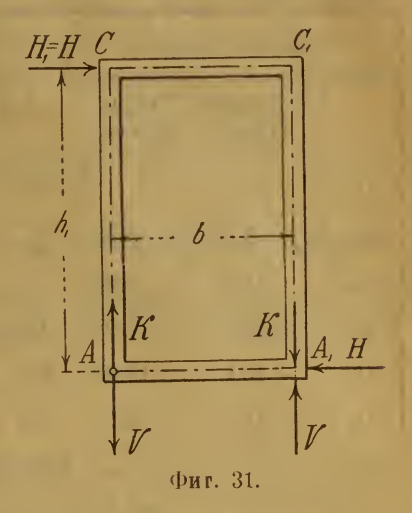
Реакціи нижнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ проходятъ черезъ центры этихъ шарнировъ и направлены вдоль ногъ рамы. Для опредѣленія ихъ величины, отсѣкаемъ отъ мостовой фермы опорныя рамы и для оставшейся средней части составляемъ уравненіе моментовъ относительно оси $C\,D$. Въ это уравненіе войдутъ искомыя реакціи K шарнировъ A_1 и B_1 и внѣшнія силы w:

$$2\, K . b = \Sigma\, w . z$$

откуда

$$K = \frac{\Sigma w . z}{2 . b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (29).$$

Изъ уравненія моментовъ относительно оси $C_1\ D_1$ слѣдуетъ, что реакціи шарнировъ A и B имѣютъ такую же величину K, но только обратно направлены. Такимъ образомъ, устройство восходящихъ раскосовъ ведетъ къ тому, что вертикальныя силы K, возникающія вслѣдствіе кривизны верхняго пояса, приложены къ опорной рамѣ не въ верхнихъ узлахъ рамы, а въ ея нижнихъ узлахъ. Соотвѣтственно съ этимъ опорная рама должна быть разсчитана на шесть силъ, расположенныхъ согласно фиг. 31.



Фиг. 31.

Вертикальныя силы V и K, приложенныя въ нижнихъ узлахъ опорной рамы, могутъ быть сведены къ двумъ, равнымъ разности этихъ силъ:

$$V_1 = V - K = \frac{1}{2b}\ (\Sigma wh - \Sigma wz)$$

или

$$V_1 = \frac{h_1}{2b}\ \Sigma w \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (30).$$

Слѣдовательно, при восходящихъ крайнихъ раскосахъ кривизна верхняго пояса не оказываетъ на опорныя рамы никакого вліянія; онѣ несутъ такую же нагрузку, какъ если бы верхній поясъ былъ горизонтальный (фиг. 40).

Вѣтровыя усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ находимъ съ помощью діаграммы.

Примѣръ. Предположимъ, что разсматриваемая ферма (фиг. 30) имѣетъ такіе же основные размѣры, какъ и разобранные выше примѣры (фиг. 15 и 27) и несетъ ту же нагрузку. При такихъ условіяхъ силы X и K будутъ имѣть значенія, нами уже найденныя, а именно:

$$K = \frac{\Sigma wz}{2b} = 10.\ \frac{w}{b}$$

$$X_1 = 26{,}4\ \frac{w}{b},\ X_2 = 21{,}6\ \frac{w}{b},\ X_3 = 16{,}8\ \frac{w}{b},\ X_4 = 12{,}0\ \frac{w}{b}$$

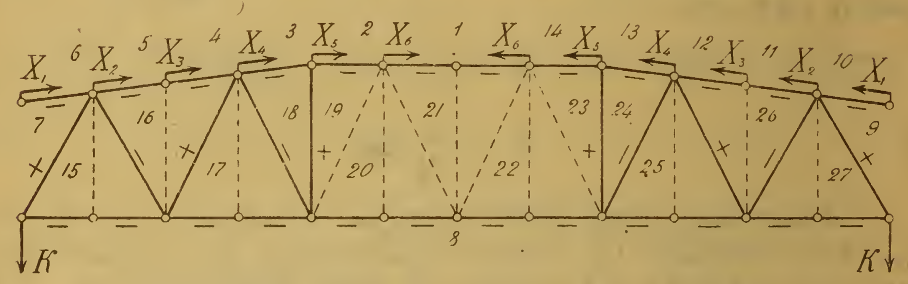
$$X_5 = 7{,}2\ \frac{w}{b},\ X_6 = 2{,}4\ \frac{w}{b}.$$

При $w = 1318$ кил. и ширинѣ моста $b = 5{,}6$ метр. вѣтровыя усилія, найденныя по діаграммѣ (фиг. 32-с), выписаны въ нижеслѣдующей таблицѣ 10.

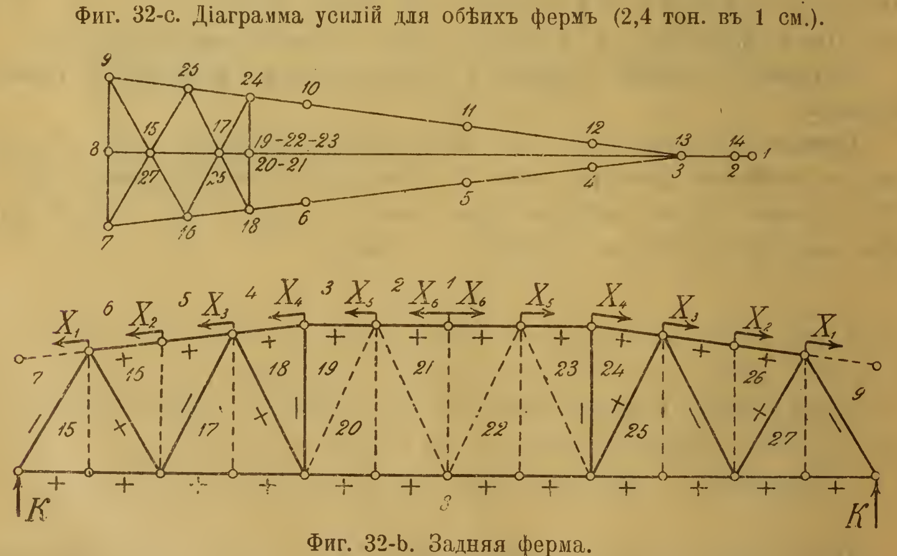
Таблица 10. Вѣтровыя усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ при вертикальныхъ опорныхъ рамахъ и восходящихъ крайнихъ раскосахъ; въ тоннахъ.

Верхній поясъ.			Нижній поясъ.			Діагонали и стойки.		
	Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.
O_1	— 6,2	0	U_1	— 1.25	+ 1,25	D_1	+ 2,67	— 2,67
O_2	— 8,8	+ 3,74	U_2	— 1,25	+ 1.25	D_2	— 2,35	+ 2,35
O_3	— 12,7	+ 8,80	U_3	— 3,46	+ 3,46	D_3	+ 2,22	— 2,22
O_4	— 13,6	+ 10,80	U_4	— 3,46	+ 3,46	D_4	— 1.96	+ 1,96
O_5	— 15,1	+ 13,50	U_5	— 4,40	+ 4,40	V_4	+ 1,73	— 1,73
O_6	— 15,7	+ 15,1	U_6	— 4,40	+ 4,40			

Фиг. 32-а. Передняя ферма.



Фиг. 32-с. Діаграмма усилій для обѣихъ фермъ (2,4 тон. въ 1 см.).



Фиг. 32-b. Задняя ферма.

Сравнивая величины двухъ таблицъ 9 и 10, найденныя для двухъ фермъ одного и того же пролета, но съ различнымъ расположеніемъ рѣ-

шетки въ главныхъ фермахъ, мы видимъ, что измѣненіе направленія раскосовъ въ главныхъ фермахъ на вѣтровыя усилія не оказываетъ замѣтнаго вліянія. При восходящихъ крайнихъ раскосахъ (фиг. 30) ноги опорныхъ рамъ будутъ находиться въ нѣсколько лучшихъ условіяхъ, чѣмъ при нисходящихъ, такъ какъ ихъ продольныя усилія уменьшаются на величину K, въ нашемъ примѣрѣ равную:

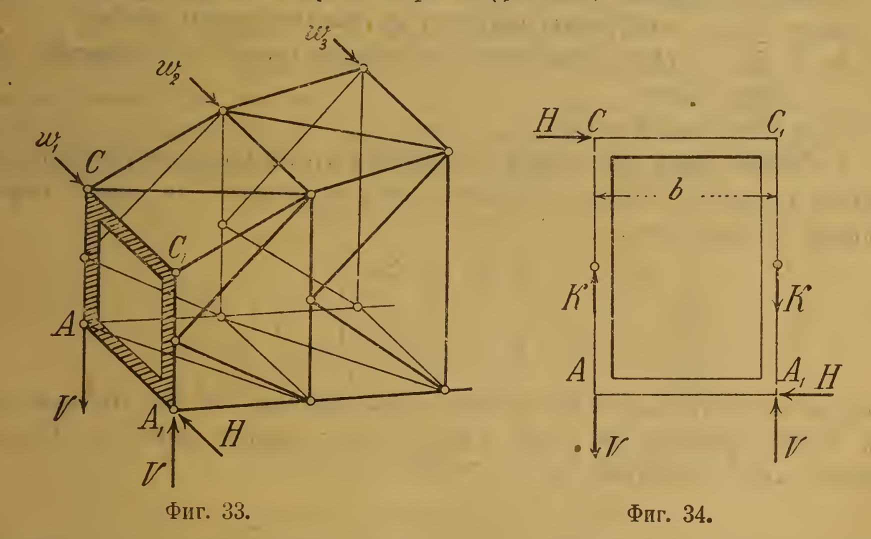
$$K = 10 . \frac{1318}{5,6} = 2350 \text{ кил.}$$

3 случай. Въ крайнихъ панеляхъ главныхъ фермъ расположены полураскосы.

При полураскосахъ въ крайнихъ панеляхъ главныхъ фермъ (фиг. 33) вліяніе криволинейнаго верхняго пояса выражается тѣми же двумя вертикальными силами:

$$K = \frac{\Sigma w z}{2 b},$$

но приложенными не въ углахъ рамы, какъ это имѣетъ мѣсто въ двухъ вышеразсмотрѣнныхъ случаяхъ, а въ узлахъ примыканія полураскосовъ къ вертикальнымъ ногамъ опорныхъ рамъ (фиг. 34). Реакціи опоръ V и H



Фиг. 33. Фиг. 34.

не зависятъ отъ расположенія рѣшетки главныхъ фермъ и, слѣдовательно, имѣютъ величины, нами уже найденныя:

$$V = \frac{\Sigma w . h}{2 . b} \quad \text{и} \quad H = \frac{\Sigma w}{2}.$$

Заключеніе.

Изъ всѣхъ вышеразсмотрѣнныхъ въ § 3 случаевъ вытекаетъ слѣдующее заключеніе:

a) отъ системы рѣшетки верхнихъ связей зависятъ точки прило-

женія горизонтальныхъ силъ H_1 H_2 (см. фиг. 9, 10, 11), въ суммѣ всегда равныхъ $H = 0{,}5 . \Sigma w$,

b) отъ устройства рѣшетки въ главныхъ фермахъ зависятъ точки приложенія вертикальныхъ силъ:

$$K = \frac{\Sigma wz}{2b},$$

выражающихъ вліяніе криволинейности верхняго пояса; силы K приложены всегда въ тѣхъ точкахъ вертикальныхъ ногъ опорныхъ рамъ, къ которымъ подходятъ раскосы крайнихъ панелей главныхъ фермъ.

§ 4. Фермы съ параллельными поясами и наклонными опорными рамами (фиг. 35).

Обозначимъ черезъ:
h—высоту фермы,
b—ширину моста,
λ—длину наклонной рамы,
α—уголъ наклона опорныхъ рамъ къ горизонту,
w_1 w_2 w_3 . . .—вѣтровую нагрузку на узлы верхняго пояса,
φ_1 φ_2 φ_3 . . .—углы, образуемые діагоналями связей со стрежнями верхняго пояса,
V и H—реакціи опоръ.

1. Реакціи опоръ. Въ случаѣ симметричной нагрузки реакціи опоръ сведутся къ шести силамъ: четыремъ вертикальнымъ V и двумъ горизонтальнымъ H, причемъ

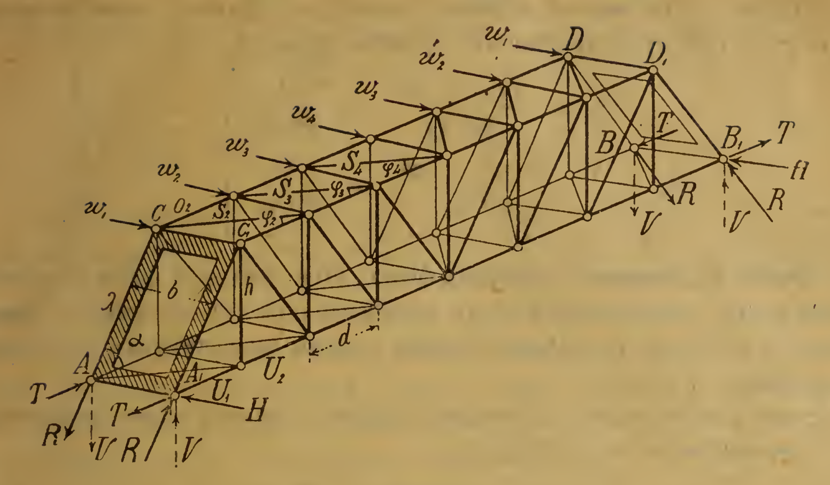
$$\left.\begin{aligned} H &= 0{,}5 . \Sigma w \\ V &= \frac{h}{b} . \frac{\Sigma w}{2} \end{aligned}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (31).$$

Каждую изъ вертикальныхъ реакцій раскладываемъ на двѣ составляющія: R и T, изъ которыхъ R идетъ вдоль ноги опорной рамы, а T—вдоль нижняго пояса; находимъ:

$$R = \frac{V}{\sin \alpha} = V . \frac{\lambda}{h} = \frac{\lambda}{b} . \frac{\Sigma w}{2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (32),$$

$$T = V . \operatorname{Cotg} \alpha = V . \frac{d}{h} = \frac{d}{b} . \frac{\Sigma w}{2} = U_1 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (33),$$

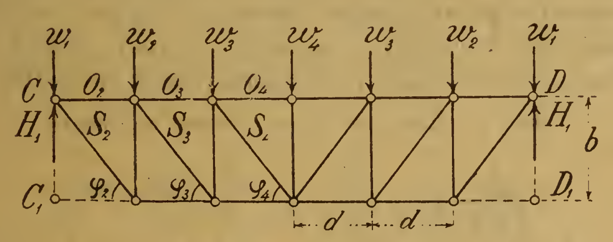
Въ задней фермѣ (считая по вѣтру) силы T направлены внаружу, вызывая растягивающее усиліе U_1 въ крайнихъ стержняхъ нижняго пояса, а въ передней фермѣ силы T направлены къ серединѣ фермы, соотвѣтственно чему крайніе стержни нижняго пояса получаютъ сжимающія усилія.



Фиг. 35.

2. Реакціи верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ. Въ шарнирахъ C_1 и D_1 реакціи равны нулю; въ этомъ можно убѣдиться, если удалить опорныя рамы, а для остальной части составить уравненіе моментовъ относительно оси CD. Въ шарнирахъ C и D реакціи сводятся къ горизонтальнымъ силамъ H_1 (фиг. 36), идущимъ вдоль верхнихъ распорокъ, такъ какъ иначе уравненіе моментовъ относительно оси $C_1 D_1$ для той же системы не удовлетворится. Проектируя всѣ силы, дѣйствующія на систему верхнихъ связей, на направленіе, параллельное внѣшнимъ силамъ, находимъ:

$$H_1 = 0{,}5 . \Sigma w = H \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (34).$$



Фиг. 36. Планъ верхнихъ связей.

Тотъ же результатъ мы можемъ получить и на основаніи формулы (19), опредѣляющей реакціи K, лежащія въ плоскости опорныхъ рамъ и идущія вдоль ногъ. Такъ какъ въ разсматриваемомъ случаѣ $\Sigma wz = 0$, то и реакціи

$$K = \frac{\Sigma wz}{2 . b . \sin\alpha} = 0 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (35).$$

Такимъ образомъ, реакціи верхнихъ шарнировъ опорныхъ рамъ состоятъ изъ двухъ горизонтальныхъ силъ H_1, приложенныхъ въ узлахъ C и D къ которымъ подходятъ крайнія діагонали верхнихъ связей (фиг. 36).

3. Усилія въ діагоналяхъ верхнихъ связей выражаются тѣми же формулами, какъ и при криволинейномъ верхнемъ поясѣ:

$$\left.\begin{aligned} S_2 &= \frac{H_1 - w_1}{\sin \varphi_2} = \frac{Q_2}{\sin \varphi_2} \\ S_3 &= \frac{H_1 - w_1 - w_2}{\sin \varphi_3} = \frac{Q_3}{\sin \varphi_3} \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (36).$$

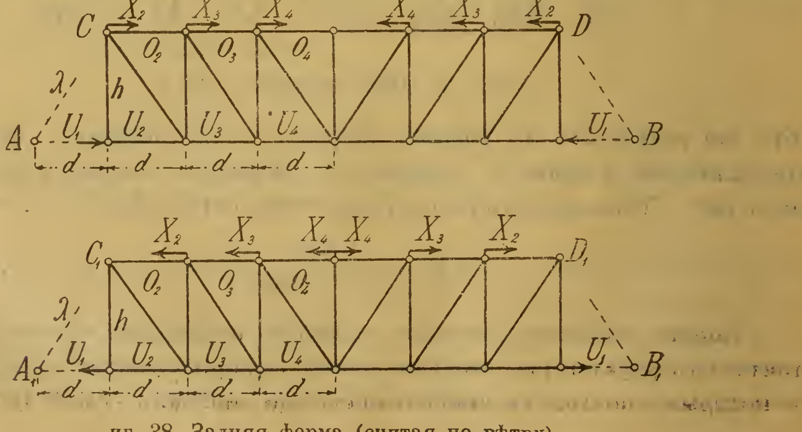
4. Усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ. Отъ мостовой фермы отсѣкаемъ опорныя рамы, а оставшуюся часть разсѣкаемъ на двѣ половины и каждую изъ нихъ со всѣми на нее дѣйствующими силами проектируемъ на плоскость чертежа (фиг. 37 и 38).

Усилія разсѣченныхъ діагоналей верхнихъ связей спроектируются въ силы X, величины которыхъ будутъ:

$$\left.\begin{aligned} X_2 &= S_2 . \cos \varphi_2 = Q_2 . \frac{d}{b} \\ X_3 &= S_3 . \cos \varphi_3 = Q_3 . \frac{d}{b} \\ X_4 &= S_4 . \cos \varphi_4 = Q_4 . \frac{d}{b} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots (37).$$

Усилія разсѣченныхъ распорокъ проекцій не дадутъ, такъ какъ распорки перпендикулярны къ плоскостямъ главныхъ фермъ. Легко видѣть, что рѣшетка главныхъ фермъ имѣетъ нулевыя усилія, ибо всѣ внѣшнія силы, приложенныя къ узламъ фермы, направлены вдоль поясовъ. Стержни нижнихъ поясовъ обѣихъ фермъ имѣютъ одинаковыя усилія, равныя U_1, при чемъ стержни передней фермы сжаты, а стержни задней фермы—растянуты. Усилія въ стержняхъ верхнихъ поясовъ согласно фиг. 37 и 38 имѣютъ значенія, выписанныя въ нижеслѣдующей таблицѣ,

Фиг. 37. Передняя ферма (считая по вѣтру).



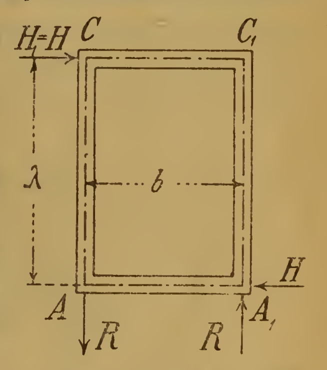
иг. 38. Задняя ферма (считая по вѣтру).

при чемъ въ передней фермѣ стержни сжаты, а въ задней—растянуты.

Передняя ферма.	Задняя ферма.
$O_2 = -X_2$	$O_2 = 0$
$O_3 = -X_2 - X_3$	$O_3 = +X_2$
$O_4 = -X_2 - X_3 - X_4$	$O_4 = +X_2 + X_3$

Система верхнихъ связей, какъ усматривается изъ фиг. 36, находится въ условіяхъ плоской фермы, имѣющей опоры въ C и D. Слѣдовательно, разсчетъ усилій во всѣхъ стержняхъ верхнихъ связей можно выполнить съ помощью діаграммы усилій, выстроенной для плоской фермы, опертой въ C и D и нагруженной системой параллельныхъ силъ w (фиг. 36). Въ практикѣ очень часто при наклонныхъ рамахъ искусственно увеличиваютъ разсчетный пролетъ верхнихъ связей, вводя вмѣсто опорныхъ рамъ полудіагонали. Такой пріемъ ведетъ къ напрасному увеличенію вѣтровыхъ усилій въ верхнихъ связяхъ. Между тѣмъ, за разсчетный пролетъ надо принимать разстояніе между распорками опорныхъ рамъ, какъ то усматривается по фиг. 36.

5. Внѣшнія силы, дѣйствующія на опорную раму. Сквознымъ сѣченіемъ отдѣляемъ раму отъ мостовой фермы и разсѣченные стержни замѣняемъ ихъ усиліями. Совмѣстимъ раму съ плоскостью чертежа и выдѣлимъ тѣ силы, которыя расположены въ плоскости рамы (фиг. 39). Въ шарнирѣ C приложено давленіе, равное найденной нами реакціи H_1, идущей вдоль верхней распорки (фиг. 36 и 39). Въ шарнирѣ C_1 силы нѣтъ вовсе. Къ нижнимъ узламъ рамы приложены: горизонтальная реакція $H = 0{,}5\Sigma w$ и двѣ силы R, величины которыхъ:



Фиг. 39.

$$R = V.\frac{\lambda}{h} = \frac{\lambda}{b}\cdot\frac{\Sigma w}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (38).$$

Такимъ образомъ, опорная рама должна быть разсчитана на четыре силы, составляющія двѣ пары: $H.\lambda$ и $R.b$, между тѣмъ какъ при криволинейномъ верхнемъ поясѣ рама подвержена дѣйствію шести силъ, такъ какъ въ узлахъ C и C_1 появляются силы K, зависящія исключительно отъ кривизны верхняго пояса (фиг. 8). Благодаря отсутствію силъ K, ноги рамы испытываютъ меньшія продольныя усилія.

Частный примѣръ. Въ качествѣ частнаго примѣра возьмемъ ферму показанную на фиг. 15, и предположимъ, что полигональный верхній поясъ обращенъ въ прямолинейный, при чемъ пролетъ фермы l, ширина моста b и высота стойки h_1 остаются безъ измѣненія и имѣютъ слѣдующія значенія:

пролетъ фермы . . . . l = 66,64 мт.
ширина моста . . . . b = 5,60 „
длина панели . . . . b = 4,76 „
высота стойки . . . . h_1 = 7,50 „

Давленіе вѣтра на узелъ верхнихъ связей при слабомъ вѣтрѣ будетъ:

$$w = 0{,}5 \cdot \frac{7{,}5 \times 4{,}76}{2} \cdot 132 = 1180 \text{ кил.}$$

Вертикальныя реакціи опоръ:

$$V = \frac{h_1}{b} \cdot \frac{\Sigma w}{2} = \frac{7{,}50}{b} \cdot \frac{13 \cdot w}{2} = 48{,}75 \frac{w}{b}.$$

Вѣтровыя усилія въ стержняхъ нижнихъ поясовъ:

$$U = \frac{d}{b} \cdot \frac{\Sigma w}{2} = \frac{d}{b} \cdot \frac{13 w}{2} = \frac{4{,}76}{5{,}60} \cdot \frac{13 \cdot 1180}{2} = 6520 \text{ кил.}$$

Силы X, замѣняющія дѣйствіе разсѣченныхъ діагоналей верхнихъ связей и приложенныя къ узламъ верхнихъ поясовъ:

$$X_2 = Q_2 \cdot \frac{d}{b} = 5{,}5 \cdot w \cdot \frac{d}{b}$$

$$X_3 = Q_3 \cdot \frac{d}{b} = 4{,}5 \cdot w \cdot \frac{d}{b}$$

$$X_4 = Q_4 \cdot \frac{d}{b} = 3{,}5 \cdot w \cdot \frac{d}{b}$$

$$X_5 = Q_5 \cdot \frac{d}{b} = 2{,}5 \cdot w \cdot \frac{d}{b}$$

$$X_6 = Q_6 \cdot \frac{d}{b} = 1{,}5 \cdot w \cdot \frac{d}{b}$$

$$X_7 = Q_7 \cdot \frac{d}{b} = 0{,}5 \cdot w \cdot \frac{d}{b}.$$

Таблица 11. Вѣтровыя усилія при параллельныхъ поясахъ и наклонныхъ опорныхъ рамахъ; въ тоннахъ.

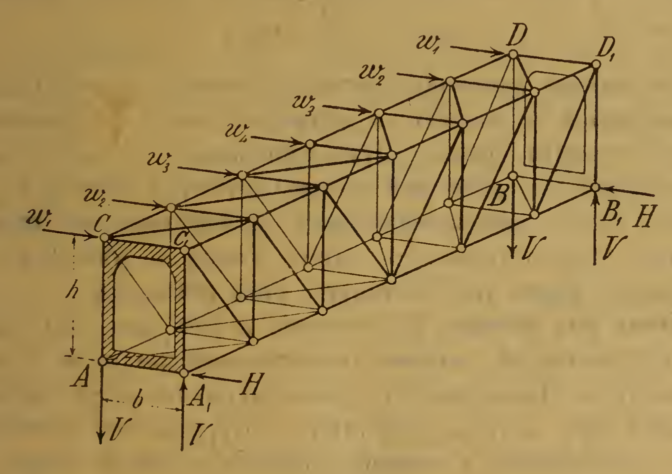
	Верхній поясъ.		Нижній поясъ.		
	Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.
				—	+
O_2	$-X_2$ . . . . = − 5,5	. . . . =0	U_1	6,52	6,52
O_3	$-X_2-X_3$ . . . . = −10,0	X_2 . . . . + 5,5	U_2	6,52	6,52
O_4	$-X \quad X_3-X_4$ . . . . . . = −13,5	X_2+X_3 . . . . +10,0	U_3	6,52	6,52
O_7	$-X_2-X_3-X_4-X_5$ . . . = −16,0	$X_2+X_3+X_4$ . . . . . +13,5	U_4	6,52	6,52
O_6	$-X_2-X_3-X_4=X_5-X_6$ = −17,5	$X_2+X_3+X_4+X_5$ . . . +16,0	U_5	6,52	6,52
O_7	$-X_2 \quad X_3-X_4-X_5 \quad X_6-X_7$ =−18,0	$X_2+X_3+X_4+X_5+X_6$ +17,5	U_6	6,52	6,52
			U_7	6,52	6,52

Если сопоставить усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ, соотвѣтствующія двумъ случаямъ, а именно: криволинейному верхнему поясу (табл. 2) и прямому (табл. 11), то придемъ къ заключенію, что криволинейность верхняго пояса понижаетъ усилія въ стержняхъ верхнихъ поясовъ, увеличиваетъ усилія въ нижнихъ поясахъ и вызываетъ небольшія усилія въ рѣшеткѣ главныхъ фермъ. Такимъ образомъ, криволинейность верхнихъ связей работу верхнихъ поясовъ перекладываетъ на нижніе растянутые пояса и отчасти на рѣшетку главныхъ фермъ. Слѣдовательно, верхній криволинейный поясъ обладаетъ большей боковой жесткостью, чѣмъ прямой.

Изъ четырехъ поясовъ мостовой фермы наиболѣе нагруженнымъ оказывается нижній поясъ задней фермы, такъ какъ этотъ поясъ работаетъ на растяженіе отъ вертикальной нагрузки, отъ давленія вѣтра на нажнія и на верхнія связи и отъ давленія вѣтра на поѣздъ.

§ 5. Фермы съ параллельными поясами и вертикальными опорными рамами (фиг. 40).

Случай фермы съ параллельными поясами и вертикальными опорными рамами представляетъ наиболѣе простой. Въ передачѣ горизонтальныхъ силъ, приложенныхъ къ узламъ верхняго пояса, принимаютъ участіе рѣшетка верхнихъ связей и опорныя рамы; нижніе пояса и рѣшетка главныхъ фермъ на эту нагрузку не работаютъ. Вертикальныя реакціи V лежатъ въ плоскости опорныхъ рамъ, а потому составляющихъ, идущихъ вдоль нижняго пояса, нѣтъ. Такимъ образомъ, переходя отъ наклонныхъ рамъ къ вертикальнымъ, мы избѣгаемъ дополнительныхъ усилій въ нижнихъ поясахъ.



Фиг. 40, 7

---

§ 6. Вліяніе системы связей на величину вѣтровыхъ усилій въ главныхъ фермахъ.

Покажемъ, что вѣтровыя усилія, возникающія въ рѣшеткѣ и нижнихъ поясахъ главныхъ фермъ при давленіи вѣтра на узлы верхнихъ связей, не зависятъ отъ системы верхнихъ связей. Пояснимъ примѣрами.

I. При **раскосной** системѣ верхнихъ связей (фиг. 15) въ узлахъ главныхъ фермъ приложены слѣдующія силы: K, U_1 и группа силъ X, расположенныхъ по контуру верхняго пояса. Силы K и U_1 отъ системы верхнихъ связей не зависятъ (см. формулы 13 и 20); силы же X выражаются такъ:

$$X = Q\frac{\lambda}{b},$$

гдѣ Q — поперечная сила въ разсматриваемой панели верхнихъ связей, λ—длина стержня верхняго пояса той же панели, а b—ширина моста. При переходѣ отъ раскосной системы къ какой-либо другой, напримѣръ, къ **полураскосной**, мы снова получимъ ту же группу силъ. Въ самомъ дѣлѣ, силы K и U_1, какъ не зависящія отъ системы связей, останутся безъ измѣненія. Легко видѣть, что и силы X будутъ тѣ же. Усиліе полураскоса:

$$S = \frac{Q}{2 . \sin \varphi},$$

а потому сила $X = S . \cos \varphi = \frac{Q}{2} . \operatorname{cotg} \varphi = \frac{Q}{2} . \frac{\lambda}{0{,}5 . b} = Q . \frac{\lambda}{b}.$

Слѣдовательно, замѣна раскосной системы верхнихъ связей полураскосной ни какихъ измѣненій не вноситъ, и вѣтровыя усилія въ рѣшеткѣ и нижнихъ поясахъ главныхъ фермъ будутъ одинаковы.

При переходѣ отъ раскосной системы верхнихъ связей къ треугольной, измѣнится только расположеніе силъ X, величины же ихъ останутся безъ измѣненія; соотвѣтственно съ этимъ усилія въ рѣшеткѣ и нижнихъ поясахъ главныхъ фермъ тоже останутся безъ измѣненія.

II. **Возьмемъ еще примѣръ**. Въ мостовой фермѣ (фиг. 20) верхнія связи устроены двухрѣшетчатой системы; соотвѣтствующія силы X и X' выписаны въ таблицѣ 6. Покажемъ, что, если двухрѣшетчатую систему связей замѣнимъ какой-либо другой, напримѣръ, полураскосной системой, вѣтровыя усилія въ діагоналяхъ и нижнихъ поясахъ главныхъ фермъ не измѣнятся. Для доказательства достаточно показать, что сумма силъ X и X' въ предѣлахъ одной панели не зависитъ отъ выбора системы связей.

Введемъ слѣдующія обозначенія:

$$H_1 = Q_2$$

$$H_1 - w_2 = Q_3$$

$$H_1 - w_2 - w_3 = Q_4$$

$$H_1 - w_2 - w_3 - w_4 = Q_5$$
$$H_1 - w_2 - w_3 - w_4 - w_5 = Q_6$$
$$H_1 - w_2 - w_3 - w_4 - w_5 - w_6 = Q_7.$$

Пользуясь таблицей 6-ой, находимъ сумму силъ X и X' для каждой панели передней фермы, показанной на фиг. 23.

Таблица 12.

Панель	Сумма силъ X и X', соотвѣтствующихъ одной панели передней фермы (фиг. 23) при двухрѣшетчатой системѣ верхнихъ связей.
2	$X_2 = \frac{H_1\lambda_2}{b} \ldots = Q_2\frac{\lambda_2}{b} = 38{,}2\frac{w}{b}$
3	$X_3 + X'_3 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2\right)\frac{\lambda_3}{b} + \frac{H_1\lambda_3}{2b} \ldots = Q_3\frac{\lambda_3}{b} = 31{,}3\frac{w}{b}$
4	$X'_4 + X_4 = \left(\frac{H_1}{2} - w_3\right)\frac{\lambda_4}{b} + \left(\frac{H_1}{2} - w_2\right)\frac{\lambda_4}{b} \ldots = Q_4\frac{\lambda_4}{b} = 23{,}2\frac{w}{b}$
5	$X_5 + X'_5 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2 - w_4\right)\frac{\lambda_5}{b} + \left(\frac{H_1}{2} - w_3\right)\frac{\lambda_5}{b} \ldots = Q_5\frac{\lambda_5}{b} = 16{,}6\frac{w}{b}$
6	$X'_6 + X_6 = \left(\frac{H_1}{2} - w_2 - w_4\right)\frac{\lambda_6}{b} + \left(\frac{H_1}{2} - w_3 - w_5\right)\frac{\lambda_6}{b} \ldots = Q_6\frac{\lambda_6}{b} = 9{,}8\frac{w}{b}$
7	$X'_7 - X_7 = \left(\frac{H_1}{2} - w_3 - w_5\right)\frac{\lambda_7}{b} + \left(\frac{H_1}{2} - w_2 - w_4 - w_6\right)\frac{\lambda_7}{b} = Q_7\frac{\lambda_7}{b} = 3{,}3\frac{w}{b}$

При полураскосной системѣ связей въ каждой панели будетъ только одна сила X, и ея величина будетъ имѣть то же значеніе, что и сумма двухъ составляющихъ X и X', имѣющихъ мѣсто при двухрѣшетчатой системѣ. Произведемъ указанную замѣну верхнихъ связей и построимъ для передней фермы (фиг. 41) діаграмму усилій. При полураскосной системѣ силы X будутъ имѣть слѣдующія значенія:

$$X_2 = \frac{Q_2\lambda_2}{b} = 5{,}5 . w . \frac{6{,}954}{b} = 38{,}2\frac{w}{b}$$

$$X_3 = \frac{Q_3\lambda_3}{b} = 4{,}5\ w . \frac{6{,}954}{b} = 31{,}3\frac{w}{b}$$

$$X_4 = \frac{Q_4\lambda_4}{b} = 3{,}5\ w . \frac{6{,}656}{b} = 23{,}2\frac{w}{b}$$

$$X_5 = \frac{Q_5\lambda_5}{b} = 2{,}5\ w . \frac{6{,}656}{b} = 16{,}6\frac{w}{b}$$

$$X_6 = \frac{Q_6\lambda_6}{b} = 1{,}5\ w . \frac{6{,}580}{b} = 9{,}8\frac{w}{b}$$

$$X_7 = \frac{Q_7\lambda_7}{b} = 0{,}5\ w . \frac{6{,}580}{b} = 3{,}3\frac{w}{b}$$

Силы K и U_1, какъ не зависящія отъ системы верхнихъ связей, останутся безъ измѣненія и будутъ:

$$U_1 = 64{,}8\ \frac{w}{b},$$

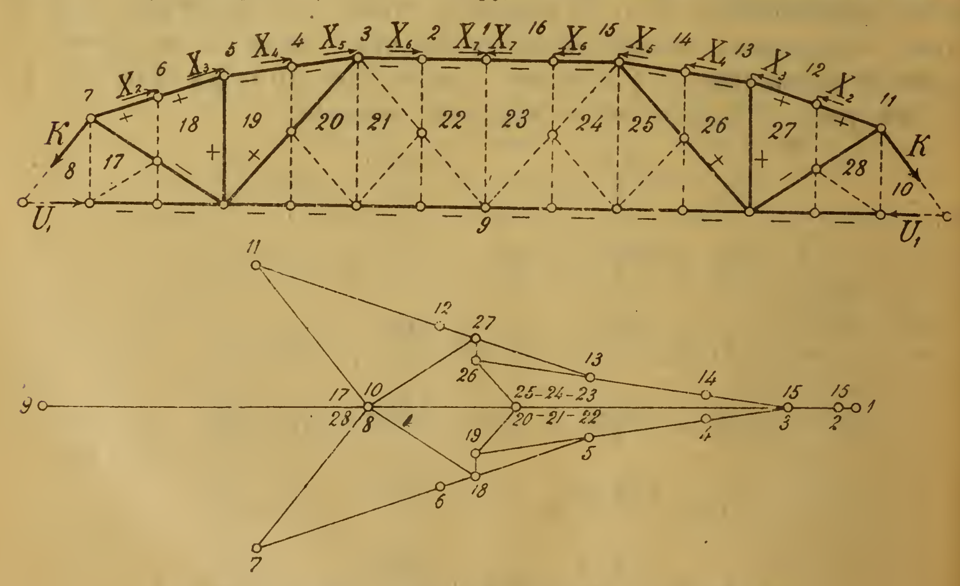
$$K = 36{,}2\ \frac{w}{b}.$$

Діаграмма усилій, соотвѣтствующая двухрѣшетчатой системѣ связей (фиг. 24), и діаграмма усилій, соотвѣтствующая полураскосной системѣ верхнихъ связей (фиг. 42), подтверждаютъ справедливость сказаннаго: въ рѣшеткѣ и нижнихъ поясахъ главныхъ фермъ вѣтровыя усилія не зависятъ отъ системы верхнихъ связей. Въ нижеслѣдующей таблицѣ 13 выписаны усилія стержней верхняго пояса передней фермы, соотвѣтствующія двумъ системамъ верхнихъ связей; на основаніи этой таблицы мы приходимъ къ заключенію, что переходъ отъ одной системы верхнихъ связей къ другой рѣзкихъ измѣненій въ вѣтровыя усилія главныхъ фермъ не вноситъ.

Таблица 13. Усилія верхняго пояса передней фермы.

Верхнія связи	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7
двухрѣшетчатой системы (фиг. 23 и табл. 7).	+16,2	—1,4	—12,3	—17,8	—20,5	—22,4
полураскосной системы (фиг. 41 и діаграмма 42).	+16,2	+2,6	— 8,1	—16,4	—19,0	—22,6

Фиг. 41. Передняя ферма (считая по вѣтру). Верхнія связи полураскосной системы.



Фиг. 42. Діаграмма усилій для передней и задней фермы.

Глава вторая.

Мосты съ ѣздою по верху и криволинейнымъ нижнимъ поясомъ.

§ 7. Ходъ разсчета.

Въ мостахъ съ ѣздою по верху, для повышенія боковой устойчивости пролетнаго строенія, устраиваютъ криволинейный нижній поясъ (фиг. 43). При такомъ устройствѣ давленіе вѣтра, приходящееся на узлы нижняго пояса, передается не только нижнимъ связямъ, но и стержнямъ главныхъ фермъ. Ходъ разсчета вѣтровыхъ усилій во всемъ совпадаетъ съ изложеннымъ выше для моста съ ѣздою по низу и криволинейнымъ верхнимъ поясомъ.

Обозначимъ черезъ:

$h_1\ h_2\ h_3$ . . . . . . высоты стоекъ главной фермы,
$\lambda_1\ \lambda_2\ \lambda_3$ . . . . длины стержней нижняго пояса,
$d_1\ d_2\ d_3$ . . . . . . длины діагоналей нижнихъ связей,
$z_1\ z_2\ z_3$ . . . . ординаты кривизны нижняго пояса,

т. е. слѣдующія разности:

$$z_1 = h_1 - h_1$$
$$z_2 = h_2 - h_1$$
$$z_3 = h_3 - h_1$$

b . . . . ширину моста,
$S_1\ S_2\ S_3$ . . . усилія въ діагоналяхъ нижнихъ связей,
$\varphi_1\ \varphi_2\ \varphi_3$ . . . углы, образуемые діагоналями связей со стержнями нижняго пояса.

Въ разсматриваемомъ случаѣ нагрузки, состоящей изъ силъ w, симметрично нагружающихъ узлы нижняго пояса, опорныя реакціи сводятся къ шести силамъ: двумъ горизонтальнымъ H и четыремъ вертикальнымъ V, причемъ величины ихъ имѣютъ слѣдующія значенія:

$$H = \frac{\Sigma w}{2}, \qquad V = \frac{\Sigma w.z}{2.b} \quad \ldots\ldots (39).$$

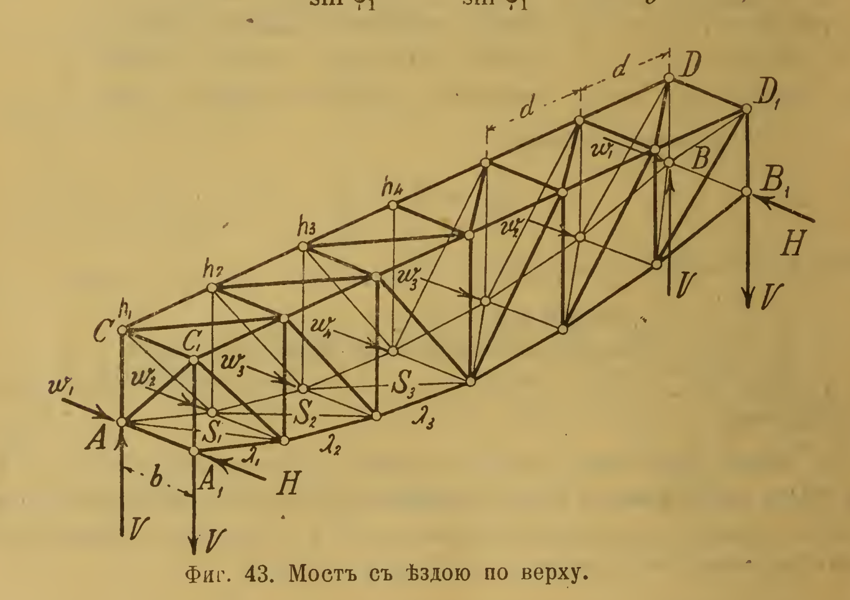
Въ отношеніи внутреннихъ усилій разсматриваемая свободная система (фиг. 43)—статически опредѣлима; поэтому, если для заданной

нагрузки нами будетъ найдено рѣшеніе, удовлетворяющее условію равновѣсія, то оно и будетъ единственно возможное, такъ какъ статически опредѣлимая система для заданной нагрузки допускаетъ только одно рѣшеніе. Если предположить, что рѣшетка верхнихъ связей и діагонали поперечныхъ связей, расположенныхъ въ плоскости опорныхъ стоекъ, усилій не имѣютъ и въ этомъ предположеніи найти усилія во всѣхъ остальныхъ стержнахъ мостовой фермы, то, какъ мы увидимъ ниже, получимъ возможное рѣшеніе, т. е. такое, при которомъ возможно равновѣсіе всѣхъ узловъ; слѣдовательно, такое предположеніе отвѣчаетъ дѣйствительности.

Усилія въ діагоналяхъ нижнихъ связей (фиг. 43). Сквознымъ сѣченіемъ разсѣкаемъ всѣ стержни первой панели и всѣ силы, дѣйствующія на отсѣченную часть, проектируемъ на ось AA_1. Получаемъ уравненіе:

$$S_1 . \sin \varphi_1 + w_1 - H = 0,$$

откуда
$$S_1 = \frac{H - w_1}{\sin \varphi_1} = \frac{Q_1}{\sin \varphi_1} = Q_1 . \frac{d_1}{b} \quad \ldots \ldots (40).$$



Фиг. 43. Мостъ съ ѣздою по верху.

Проводя сѣченія во второй, третьей и т. д. панеляхъ и каждый разъ проектируя силы на ось AA_1, мы найдемъ усилія во всѣхъ діагоналяхъ нижнихъ связей:

$$\left.\begin{aligned} S_2 &= \frac{H - w_1 - w_2}{\sin \varphi_2} = \frac{Q_2}{\sin \varphi_2} = Q_2 . \frac{d_2}{d} \\ S_3 &= \frac{H - w_1 - w_2 - w_3}{\sin \varphi_3} = \frac{Q_3}{\sin \varphi_3} = Q_3 . \frac{d_3}{b} \end{aligned}\right\} \quad . \ (41).$$

Усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ. Если продольнымъ сквознымъ сѣченіемъ разсѣчь ферму на двѣ половины и каждую изъ нихъ со всѣми на нее дѣйствующими силами спроектировать на плоскость чертежа, то получимъ двѣ плоскія системы, къ узламъ которыхъ будутъ приложены реакціи V и силы X, замѣняющія собой дѣйствіе разсѣченныхъ стержней. Усилія распорокъ нижнихъ связей при проектированіи обращаются въ нули, а усилія, соотвѣтствующія діагоналямъ нижнихъ связей, на плоскость главныхъ фермъ спроектируются въ X_1 X_2 X_3, при чемъ:

$$\left.\begin{aligned} X_1 &= S_1 . \cos\varphi_1 = Q_1 . \operatorname{cotg}\varphi_1 = Q_1 . \frac{\lambda_1}{b} \\ X_2 &= S_2 . \cos\varphi_2 = Q_2 . \operatorname{cotg}\varphi_2 = Q_2 . \frac{\lambda_2}{b} \\ X_3 &= S_3 . \cos\varphi_3 = Q_3 . \operatorname{cotg}\varphi_3 = Q_3 . \frac{\lambda_3}{b} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (42).$$

Эти силы X должны быть приложены въ тѣхъ узлахъ, къ которымъ подходятъ разсѣченныя діагонали нижнихъ связей. Направленія силъ X опредѣляются знаками усилій S.

Послѣ этого, опредѣленіе вѣтровыхъ усилій въ стержняхъ главныхъ фермъ можетъ быть выполнено съ помощью взаимной діаграммы усилій. Изложенный ходъ разсчета пояснимъ на частномъ примѣрѣ.

§ 8. Примѣръ.

Желѣзнодорожный мостъ пролетомъ $l = 31{,}2$ мт. съ ѣздою по верху и полигональнымъ нижнимъ поясомъ нагруженъ горизонтальными силами, приложенными въ узлахъ нижнихъ связей (фиг. 46); связи между фермами: продольныя въ плоскости верхняго и нижняго пояса и поперечныя въ плоскости опорныхъ стоекъ. Нижнія продольныя связи имѣютъ треугольную рѣшетку съ дополнительными распорками (фиг. 47).

Основные размѣры.

Разсчетный пролетъ фермы . . . . $l = 31{,}2$ мт.
Разстояніе между осями фермъ . . . . $b = 2{,}0$ мт.
Длина панели . . . . $d = 1{,}95$ мт.
Число малыхъ панелей . . . . $m = 16$.

Требуется разсчитать вѣтровыя усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ, если давленіе вѣтра, соотвѣтствующее одному узлу нижнихъ связей:

$$w = 1{,}95 \times 322 = 628 \text{ кил.}$$

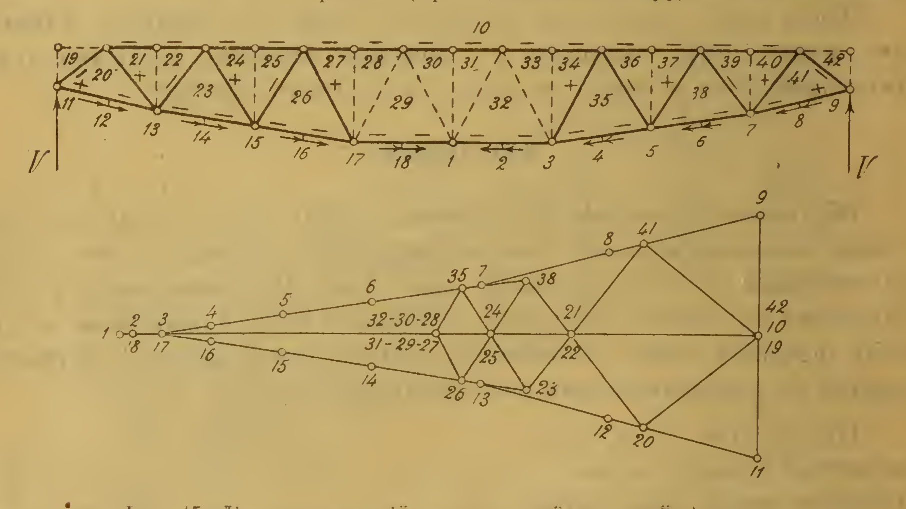
Для простоты примемъ равномѣрное распредѣленіе вѣтра по длинѣ пролета, т. е. положимъ:

$$w_1 = \frac{w}{2} \quad \text{и} \quad w_2 = w_3 = w_4 \ldots . = w.$$

Таблица 14. Геометрическiе элементы фермы (фиг. 44).

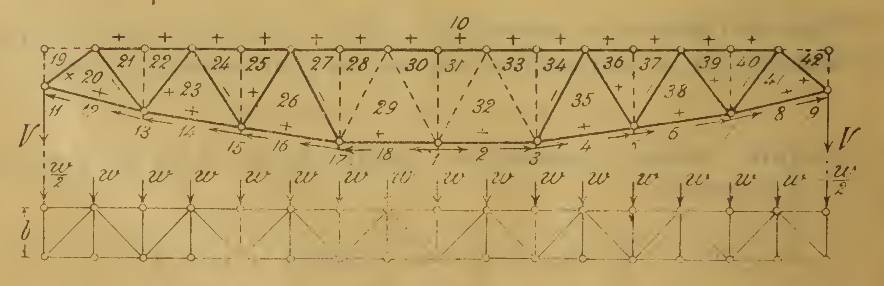
Высоты стоекъ главныхъ фермъ h мт.	Ординаты кривизны нижнаго пояса $z_n = h_n - h_1$ мт.	Длины стержней нижняго пояса λ мт.	Длины дiагоналей нижнихъ связей d мт.
$h_1 = 1{,}500$	$z_1 = h_1 - h_1 = 0$	$\lambda_1 = 2{,}02$	$d_1 = 2{,}84$
$h_2 = 2{,}000$	$z_2 = h_2 - h_1 = 0{,}500$	$\lambda_2 = 2{,}02$	$d_2 = 2{,}81$
$h_3 = 2{,}500$	$z_3 = h_3 - h_1 = 1{,}000$	$\lambda_3 = 1{,}98$	$d_3 = 2{,}81$
$h_4 = 2{,}813$	$z_4 = h_4 - h_1 = 1{,}313$	$\lambda_4 = 1{,}98$	$d_4 = 2{,}81$
$h_5 = 3{,}125$	$z_5 = h_5 - h_1 = 1{,}625$	$\lambda_5 = 1{,}98$	$d_5 = 2{,}79$
$h_6 = 3{,}438$	$z_6 = h_6 - h_1 = 1{,}938$	$\lambda_6 = 1{,}98$	$d_6 = 2{,}79$
$h_7 = 3{,}750$	$z_7 = h_7 - h_1 = 2{,}250$	$\lambda_7 = 1{,}95$	$d_7 = 2{,}79$
$h_8 = 3{,}750$	$z_8 = h_8 - h_1 = 2{,}250$	$\lambda_8 = 1{,}95$	$d_8 = 2{,}79$
$h_9 = 3{,}750$	$z_9 = h_9 - h_1 = 2{,}250$		

Фиг. 44. Передняя ферма (считая по вѣтру),



Фиг. 45. Дiаграмма усилiй для передней и задней фермы.

Фиг. 46. Задняя ферма.



Фиг. 47. Планъ нижнихъ продольныхъ связей.

Опорныя реакціи:

$$H = 0{,}5 . \Sigma w = 0{,}5 . 16\ w = 8 . w.$$

$$V = \frac{\Sigma w . z}{2b} = \frac{w}{b}\left(0 + 0{,}5 + 1{,}0 + 1{,}313 + 1{,}625 + \right.$$

$$\left. + 1{,}938 + 2{,}25 + 2{,}25 + \frac{2{,}25}{2}\right) = 12{,}5\ \frac{w}{b}.$$

Усилія въ діагоналяхъ нижнихъ связей:

$$S_1 = - Q_1 . \frac{d_1}{b} = - 7{,}5 . \frac{w}{b} . 2{,}84 = - 21{,}3 . \frac{w}{b}$$

$$S_2 = + Q_2 . \frac{d_2}{b} = + 6{,}5 . \frac{w}{b} . 2{,}81 = + 18{,}3 . \frac{w}{b}$$

$$S_3 = - Q_3 . \frac{d_3}{b} = - 5{,}5 . \frac{w}{b} . 2{,}81 = - 15{,}4 . \frac{w}{b}$$

$$S_4 = + Q_4 . \frac{d_4}{b} = + 4{,}5 . \frac{w}{b} . 2{,}81 = + 12{,}6 . \frac{w}{b}$$

$$S_5 = - Q_5 . \frac{d_5}{b} = - 3{,}5 . \frac{w}{b} . 2{,}79 = - 9{,}8 . \frac{w}{b}$$

$$S_6 = + Q_6 . \frac{d_6}{b} = + 2{,}5 . \frac{w}{b} . 2{,}79 = + 7{,}0 . \frac{w}{b}$$

$$S_7 = - Q_7 . \frac{d_7}{b} = - 1{,}5 . \frac{w}{b} . 2{,}79 = - 4{,}2 . \frac{w}{b}$$

$$S_8 = + Q_8 . \frac{d_8}{b} = + 0{,}5 . \frac{w}{b} . 2{,}79 = + 1{,}4 . \frac{w}{b}.$$

Проекціи усилій S на плоскость главной фермы:

$$X_1 = Q_1 . \frac{\lambda_1}{b} = 7{,}5 . w . \frac{2{,}02}{b} = 15{,}10 . \frac{w}{b}$$

$$X_2 = Q_2 . \frac{\lambda_2}{b} = 6{,}5 . w . \frac{2{,}02}{b} = 13{,}10 . \frac{w}{b}$$

$$X_3 = Q_3 . \frac{\lambda_3}{b} = 5{,}5 . w . \frac{1{,}98}{b} = 10{,}90 . \frac{w}{b}$$

$$X_4 = Q_4 . \frac{\lambda_4}{b} = 4{,}5 . w . \frac{1{,}98}{b} = 8{,}92 . \frac{w}{b}$$

$$X_5 = Q_5 . \frac{\lambda_5}{b} = 3{,}5 . w . \frac{1{,}98}{b} = 6{,}94 . \frac{w}{b}$$

$$X_6 = Q_6 . \frac{\lambda_6}{b} = 2{,}5 . w . \frac{1{,}98}{b} = 4{,}96 . \frac{w}{b}$$

$$X_7 = Q_7 . \frac{\lambda_7}{b} = 1{,}5 . w . \frac{1{,}95}{b} = 2{,}93 . \frac{w}{b}$$

$$X_8 = Q_8 . \frac{\lambda_8}{b} = 0{,}5 . w . \frac{1{,}95}{b} = 0{,}98 . \frac{w}{b}.$$

Согласно вышеизложенному мостовую ферму разсѣкаемъ на двѣ плоскія системы; къ узламъ каждой прикладываемъ найденныя силы V и X (фиг. 44 и 46) и выстраиваемъ взаимную діаграмму усилій (фиг. 45), которая и даетъ искомыя вѣтровыя усилія во всѣхъ стержняхъ главныхъ фермъ. Стержни съ нулевыми усиліями на схемахъ отмѣчены пунктирными линіями. Въ обѣихъ фермахъ усилія верхнихъ поясовъ и діагоналей—одинаковы, но противоположны по знаку. Усилія нижнихъ поясовъ отличаются какъ знаками, такъ и величиной. Знаки усилій, найденные по діаграммѣ, выписаны на схемахъ обѣихъ фермъ рядомъ со стержнями.

Пояса передней фермы, за исключеніемъ двухъ крайнихъ стержней нижняго пояса,—сжаты, а пояса задней фермы—растянуты. Въ діагоналяхъ знаки усилій чередуются.

Величины усилій, соотвѣтствующія значенію $w = 628$ кил. и ширинѣ моста $b = 2$ мет., выписаны въ нижеслѣдующей таблицѣ 15.

Таблица 15. Вѣтровыя усилія въ стержняхъ главныхъ фермъ; въ тоннахъ.

Верхній поясъ.			Нижній поясъ.			Діагонали.		
	Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.		Передняя ферма.	Задняя ферма.
O_1	0	0	U_1	+ 3,70	+ 1,10	D_1	— 4,55	+ 4,55
O_2	— 5,80	+ 5,80	U_2	— 5,20	+ 1,10	D_2	+ 3,60	— 3,60
O_3	— 5,80	+ 5,80	U_3	— 1,41	+ 4,88	D_3	— 2,20	+ 2,20
O_4	— 8,30	+ 8,30	U_4	— 7,70	+ 4,88	D_4	+ 2,04	— 2,04
O_5	— 8,30	+ 8,30	U_5	— 5,65	+ 7,85	D_5	— 1,73	+ 1,73
O_6	— 9,96	+ 9,96	U_6	— 9,43	+ 7,85	D_6	+ 1,65	— 1,65
O_7	— 9,96	+ 9,96	U_7	— 8,50	+ 9,43	D_7	0	0
O_8	— 9,96	+ 9,96	U_8	— 9,80	+ 9,43	D_8	0	0

Въ практикѣ очень часто разсчитываютъ нижнія связи, какъ горизонтальную сквозную балку, а для учета криволинейности вводятъ поправку, состоящую въ томъ, что усилія, полученныя для горизонтальной балки, дѣлятъ на косинусы угловъ наклона къ горизонту стержней нижнихъ связей. При такомъ способѣ разсчета вѣтровыя усилія въ верхнихъ поясахъ и въ діагоналяхъ равны нулю, а вѣтровыя усилія въ нижнихъ поясахъ имѣютъ значительно большія значенія, чѣмъ нами получено по діаграммѣ (фиг. 45). Этотъ приближенный способъ въ нашемъ примѣрѣ

даетъ для нижняго пояса задней фермы слѣдующія значенія:

$$U_2 = + 8{,}84\ ,\ U_4 = + 14{,}84\ ,\ U_6 = + 18{,}55\ ,\ U_8 = 19{,}59 \text{ тон.}$$

Сравнивая эти величины со значеніями, полученными нами по діаграммѣ и выписанными въ таблицѣ 15, мы видимъ, что при указанномъ способѣ разсчета ошибка въ вѣтровыхъ усиліяхъ получается очень замѣтная: искаженіе усилій—отъ 2 до 8 разъ. Для элемента U_2 разница въ вѣтровыхъ усиліяхъ, найденнаго по діаграммѣ (фиг. 45) и разсчитаннаго по приближенному способу, составляетъ:

$$8{,}84 - 1{,}10 = 7{,}74 \text{ тон.},$$

а по отношенію къ усилію отъ полной вертикальной нагрузки (собств. вѣса и поѣзда 1907 г.) эта разница составитъ:

$$\frac{7{,}74}{119} \times 100 = 6{,}5\%.$$

Кромѣ искаженія вѣтровыхъ усилій въ нижнихъ поясахъ, принятый въ практикѣ способъ разсчета ведетъ къ ослабленію верхняго сжатаго пояса. Верхній поясъ передней фермы, при учетѣ криволинейности нижняго пояса, получаетъ добавочное сжатіе (см. табл. 15), между тѣмъ какъ при указанномъ способѣ разсчета оно не учитывается. Изъ нижеслѣдующей таблицы 16 усматривается, что въ разбираемомъ примѣрѣ криволинейность нижняго пояса повышаетъ усиліе верхняго пояса передней фермы до 5% по отношенію къ усилію, вызываемому собственнымъ вѣсомъ моста, нагрузкой отъ поѣзда и давленіемъ вѣтра на верхнія связи.

Таблица 16. Усилія въ стержняхъ верхняго пояса передней фермы; въ тоннахъ.

	Усилія отъ полной вертикальной нагрузки	Усилія отъ вѣтра на верхнія связи.	Сумма.	Усилія отъ криволинейности нижняго пояса.	%
O_1	0	— 4,6	— 4,6	0	**0**
O_2	— 140	— 12,0	— 152,0	— 5,80	**3,8**
O_4	— 189	— 16,8	— 205,8	— 8,30	**4,1**
O_6	— 194	— 19.3	— 213,3	— 9,96	**4,7**
O_8	— 206	— 19,6	— 225,6	— 9.96	**4,4**

Въ мостахъ съ ѣздою по верху и криволинейнымъ нижнимъ поясомъ наиболѣе нагруженнымъ является нижній поясъ задней фермы, такъ какъ этотъ поясъ растянутъ и отъ вертикальной нагрузки, и отъ давленія вѣтра на ферму и, кромѣ того, получаетъ еще добавочныя усилія отъ внѣцентренности давленія вѣтра на проѣзжую часть и на подвижной составъ.

Имѣя въ виду, что изложенный способъ разсчета вѣтровыхъ усилій въ стержняхъ главныхъ фермъ съ криволинейнымъ поясомъ нисколько не сложнѣе общепринятаго, слѣдовало бы имъ всегда пользоваться. Во всякомъ случаѣ, если разсчитывать связи, какъ горизонтальную ферму, усилій, найденныхъ въ поясахъ, не слѣдуетъ дѣлить на косинусы угловъ наклона стержней къ горизонту, такъ какъ эта операція, усложняя ариѳметику, только повышаетъ погрѣшность.

Въ разобранныхъ выше примѣрахъ нами были выяснены внѣшнія силы, дѣйствующія на опорныя рамы. Перейдемъ теперь къ разсчету продольныхъ усилій и изгибающихъ моментовъ въ элементахъ самыхъ рамъ.

Глава третья.

Разсчетъ опорныхъ рамъ.

Въ отношеніи внѣшнихъ силъ и опорныхъ реакцій мостовыя рамы представляютъ системы статически опредѣлимыя. Обычно въ плоскости рамы имѣются три опорныя реакціи (фиг. 5, 8 и 30), что соотвѣтствуетъ одной неподвижной опорѣ, а другой подвижной (фиг. 52). Опредѣленіе опорныхъ реакцій выполняется съ помощью уравненій статики по формуламъ (23) при наклонныхъ рамахъ и по формуламъ (26) (27) (27) при вертикальныхъ опорныхъ рамахъ.

Въ отношеніи внутреннихъ силъ мостовыя рамы представляютъ системы статически неопредѣлимыя; слѣдовательно, при разсчетѣ рамъ необходимо, кромѣ уравненій статики, пользоваться уравненіями, получаемыми на основаніи ихъ упругой деформаціи.

§ 9. Ходъ разсчета.

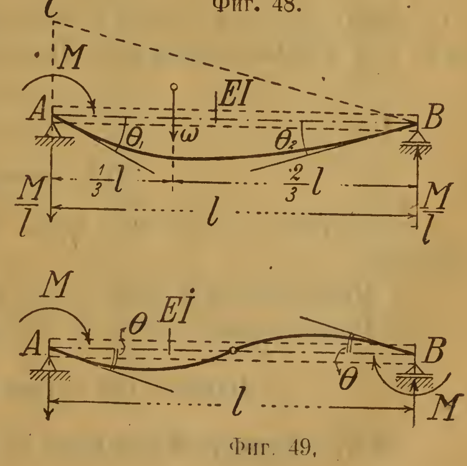
Для разсчета мостовыхъ рамъ съ жесткими углами воспользуемся слѣдующимъ пріемомъ. Части рамы подвергаются дѣйствію продольныхъ, поперечныхъ силъ и изгибающихъ моментовъ. Въ виду того, что деформаціи, соотвѣтствующія продольнымъ и поперечнымъ силамъ, сравнительно съ деформаціями, вызываемыми изгибающими моментами, очень малы, измѣненіе формы рамы зависитъ главнымъ образомъ отъ изгибающихъ моментовъ. Это обстоятельство

даетъ возможность, не внося сколько-нибудь замѣтной погрѣшности, сразу упростить вопросъ: оставить безъ учета влiянiе продольныхъ и поперечныхъ силъ на деформацiю рамы и учесть только влiянiе однихъ изгибающихъ моментовъ. При такихъ условiяхъ симметричная рама, симметрично нагруженная и послѣ деформацiи сохранитъ свою симметрiю. Исходя изъ условiя симметрiи системы и нагрузки, имѣется возможность отыскать положенiе нѣкоторыхъ точекъ перегиба. Положенiя остальныхъ точекъ перегиба могутъ быть найдены по упругой деформацiи; можно, напримѣръ, приравнять углы поворота касательной въ искомой точкѣ перегиба, найденные изъ деформацiи примыкающихъ частей рамы и изъ полученнаго такимъ образомъ уравненiя опредѣлить положенiе точки перегиба. Въ точкахъ перегиба изгибающiе моменты равны нулю; слѣдовательно, если разсѣчь раму на части и притомъ сѣченiе провести черезъ точки перегиба, дѣйствiе одной части на другую придется возмѣстить только поперечными и продольными силами. Для опредѣленiя величинъ этихъ силъ, достаточно разрѣзать раму на части сѣченiемъ, проходящимъ черезъ точки перегиба, и составить уравненiя равновѣсiя для вырѣзанной части. Послѣ того, какъ будутъ найдены силы, дѣйствующiя въ точкахъ перегиба, дальнѣйшiй разсчетъ рамы не представитъ никакихъ трудностей, такъ какъ мы знаемъ всѣ внѣшнiя силы, дѣйствующiя на каждую часть рамы.

§ 10. Вспомогательныя формулы.

Для удобства дальнѣйшаго изложенiя напомнимъ для нѣкоторыхъ случаевъ нагрузки значенiя угловъ поворота касательныхъ къ упругой линiи, проведенныхъ у концовъ балки.

1. Балка AB постоянной жесткости $E.I$, свободно лежащая на двухъ опорахъ, изгибается парой силъ M, приложенной къ одному изъ ея концовъ (фиг. 48). Найдемъ углы θ_1 и θ_2, образуемые касательными у концовъ балки.



Фиг. 49.

Эпюра изгибающихъ моментовъ, соотвѣтствующая разсматриваемому случаю нагрузки, представляетъ треугольникъ ABC, площадь котораго $\omega = \frac{1}{2} M.l$ (фиг. 48). Принимаемъ величину ω за фиктивную силу, прикладываемъ ее въ центрѣ тяжести треугольника ABC и находимъ опорныя реакцiи, вызываемыя этой фиктивной нагрузкой. Искомые углы поворота касательныхъ къ упругой линiи

у концовъ балки равны указаннымъ опорнымъ реакціямъ, раздѣленнымъ на жесткость EI; слѣдовательно, имѣемъ:

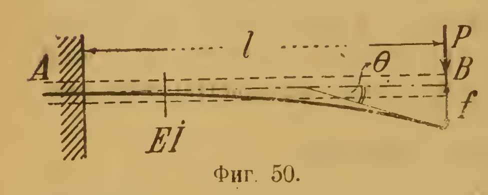
$$\theta_1 = \frac{M.l}{3.E.I} \text{ и } \theta_2 = \frac{M.l}{6.E.I} \quad \ldots\ldots\ldots (43).$$

2. Балка AB постоянной жесткости $E.I$, свободно лежащая на двухъ опорахъ, изгибается двумя равными парами M, приложенными къ ея концамъ (фиг. 49). Найдемъ углы поворота θ, образуемые касательными къ упругой линіи у концовъ балки.

Искомый уголъ θ складывается изъ двухъ частей: во-первыхъ, изъ угла θ_1, соотвѣтствующаго парѣ M, дѣйствующей на конецъ A, а во-вторыхъ, изъ угла θ_2, соотвѣтствующаго парѣ M, приложенной къ концу B, а потому на основаніи формулъ (43) имѣемъ:

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 = \frac{Ml}{3E.I} - \frac{Ml}{6E.I} = \frac{Ml}{6E.I} \quad \ldots\ldots (44).$$

3. Брусокъ AB постоянной жесткости $E.I$ защемленъ однимъ концомъ и нагруженъ силой P, приложенной къ его свободному концу (фиг. 50). Въ разсматриваемомъ случаѣ уголъ поворота θ, образуемый касательной къ упругой линіи у конца B, имѣетъ величину:



Фиг. 50.

$$\theta = \frac{P.l^2}{2.E.I} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (45).$$

т. е. равенъ площади эпюры изгибающихъ моментовъ, раздѣленной на жесткость $E.I$ изгибаемаго бруска. Прогибъ f свободнаго конца B будетъ:

$$f = \frac{P.l^3}{3.E.I} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (46)^*,$$

Два типа рамъ.

Разсмотримъ два типа рамъ, наиболѣе часто примѣняемыхъ въ практикѣ:

I. Прямоугольную раму съ жесткими углами (фиг. 52).

II. Прямоугольную раму съ угловыми консольными листами (фиг. 55).

А. Фермы съ параллельными поясами.

§ 11. Прямоугольная рама съ жесткими углами (фиг. 52).

Прямоугольная рама ACA_1C_1 высотою h и шириной b, оперта въ A_1 на неподвижную опору, а въ A на подвижную (фиг. 52). Предположимъ,

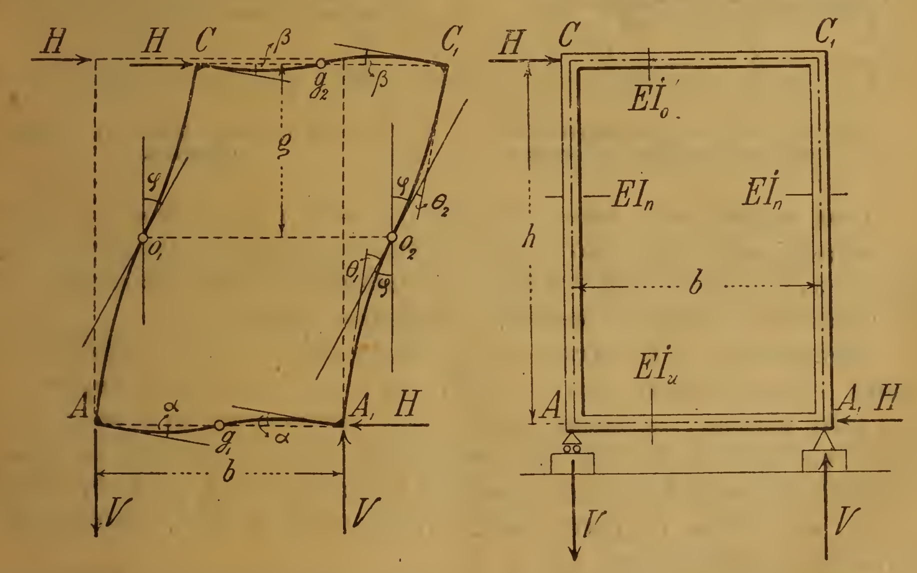
*) С. Тимошенко. Курсъ сопротивленія матеріаловъ, 1916 г., стр. 177.

что ноги рамы имѣютъ одинаковую жесткость $E.I_n$; жесткость верхней распорки пусть будетъ $E.I_o$, а нижней $E.I_u$. Въ верхнемъ узлѣ C дѣйствуетъ горизонтальная сила H. Требуется выяснить величины поперечныхъ и продольныхъ силъ и изгибающихъ моментовъ, возникающихъ въ наиболѣе опасныхъ сѣченіяхъ рамы.

Опорныя реакціи. Горизонтальная реакція на опорѣ A_1 равна дѣйствующей силѣ H. Вертикальныя реакціи на обѣихъ опорахъ равны между собою и опредѣляются изъ уравненія моментовъ относительно одной изъ опоръ; ихъ величина

$$V = \frac{H.h}{b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (47).$$

Точки перегиба распорокъ. Внѣшнія силы, дѣйствующія на раму, искривляютъ ее, при чемъ части рамы изгибаются по линіямъ двойной кривизны (фиг. 51). Точки перегиба вертикальныхъ ногъ обозначимъ черезъ 0_1 и 0_2 а точки перегиба распорокъ—черезъ g_1 и g_2. Такъ какъ изгибъ распорки и ея сжатіе оказываютъ исчезающе малое вліяніе на взаимное сближеніе верхнихъ узловъ C и C_1, можно, не дѣлая замѣтной погрѣшности, допустить, что и послѣ изгиба рамы разстояніе между узлами $C\,C_1$ остается такимъ же, какимъ оно было до деформаціи, т. е. равнымъ ширинѣ рамы b. При такомъ допущеніи перемѣщенія верхнихъ узловъ C и C_1 будутъ одинаковы. Но такъ какъ ноги рамы, по нашему предполо-

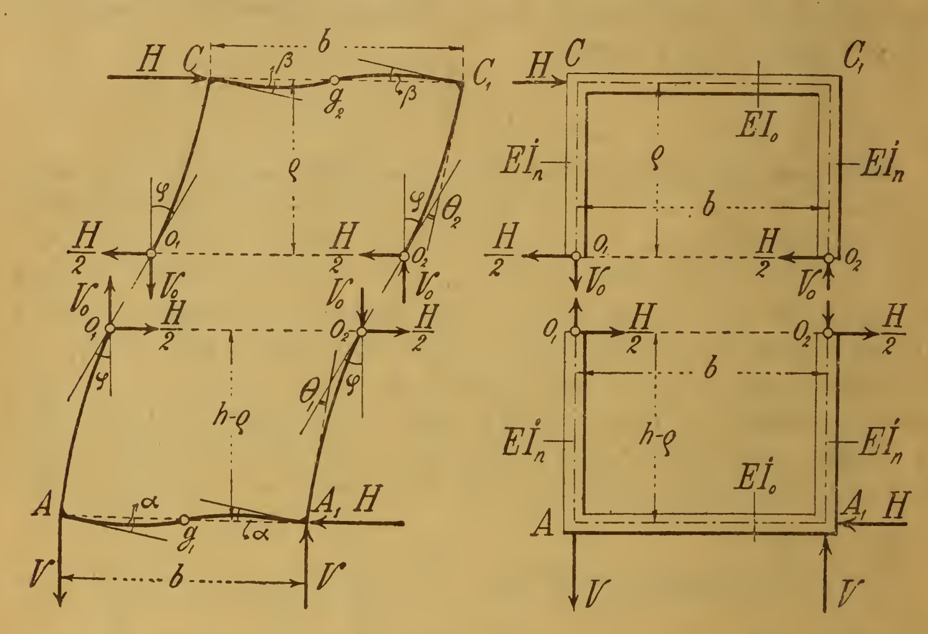


Фиг. 51. Деформація рамы. (Точки перегиба обозначены кружками).

Фиг. 52. Рама съ жесткими углами.

женію, имѣютъ одинаковую жесткость, слѣдовательно, сила H распредѣляется между узлами C и C_1 поровну, ибо только при этомъ условіи

бруски одинаковой жесткости прогнутся на одинаковую величину. То же самое надо сказать и о нижней силѣ H, половина которой остается въ узлѣ A_1, а другая половина черезъ нижнюю распорку передается въ узелъ A. Выяснивши роль распорокъ рамы, распредѣляющихъ горизонтальную нагрузку поровну между ея узлами, мы, исходя изъ условія симметріи самой рамы и ея нагрузки, необходимо должны принять, что точки перегиба распорокъ совпадаютъ съ ихъ серединами g_1 и g_2.



Фиг. 53. Разрѣзъ деформированной рамы по точкамъ перегиба.

Фиг. 54. Разрѣзъ рамы по точкамъ перегиба.

Точки перегиба ногъ рамы. Ноги рамы, одинаковой жесткости и одинаково нагруженныя, одинаково и изогнутся; слѣдовательно, ихъ точки перегиба 0_1 и 0_2 будутъ равноудалены отъ верхней распорки. Разстояніе точекъ перегиба до верхней распорки обозначимъ черезъ ρ.

Касательная къ изогнутой ногѣ, проведенная въ точкѣ перегиба, составитъ съ вертикалью уголъ φ (фиг. 51 и 53), величина котораго можетъ быть найдена, съ одной стороны, въ зависимости отъ искривленія верхней распорки и верхней части ноги, а съ другой стороны, въ зависимости отъ искривленія нижней распорки и нижней части ноги. Въ обоихъ случаяхъ мы должны получить одинъ и тотъ же уголъ φ; это условіе даетъ слѣдующее уравненіе (фиг. 53):

$$\alpha + \theta_1 = \beta + \theta_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (48),$$

которое и служитъ намъ для опредѣленія разстоянія ρ. Чтобы отыскать величины угловъ, входящихъ въ написанное уравненіе, разсѣкаемъ раму по точкамъ перегиба и отыскиваемъ поперечныя и продольныя силы, дѣй-

ствующія въ этихъ точкахъ (фиг. 53). Въ точкахъ перегиба 0_1 и 0_2 дѣйствуютъ: поперечная сила $\frac{H}{2}$ и продольная V_o, величина которой

$$V_0 = \frac{H.\rho}{b} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (49).$$

Изъ разсмотрѣнія двухъ половинъ рамы (фиг. 53 и 54) усматривается, что изгибъ верхней распорки вызывается двумя парами M, дѣйствующими по ея концамъ C и C_1, при чемъ

$$M = \frac{H}{2}.\rho \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (50);$$

изгибъ нижней распорки вызывается двумя парами M_1, дѣйствующими по концамъ A и A_1, при чемъ

$$M_1 = \frac{H}{2}(h - \rho) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (51).$$

Части ногъ рамы находятся въ условіяхъ балки, защемленной однимъ концомъ и нагруженной на свободномъ концѣ силой $\frac{H}{2}$.

По формулѣ (44) и (45) находимъ выраженія для угловъ: α β θ_1 и θ_2 и вставляемъ въ полученное выше уравненіе; получаемъ:

$$\frac{H}{2}(h-\rho).\frac{b}{6.E.I_u}+\frac{H}{2}.\frac{(h-\rho)^2}{2.E.I_n}=\frac{H}{2}.\rho.\frac{b}{6E.I_o}+\frac{H}{2}.\frac{\rho^2}{2E.I_n} \quad \ldots \quad (52)$$

откуда искомое разстояніе точки перегиба до оси верхней распорки:

$$\rho = h.\frac{3+\frac{b}{h}.\frac{I_n}{I_u}}{6+\frac{b}{h}.\left(\frac{I_n}{I_o}+\frac{I_n}{I_u}\right)} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (53).$$

Если верхняя и нижняя распорки будутъ имѣть одинаковую жесткость, т. е. если $E.I_o = E.I_u$, то точки перегиба расположатся по серединѣ высоты рамы. ибо для этого случая

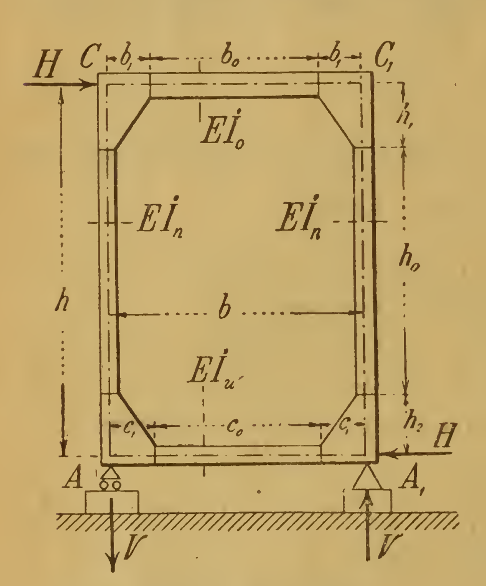
$$\rho = \frac{h}{2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (54).$$

Дальнѣйшій разсчетъ не вызываетъ никакихъ затрудненій, ибо мы знаемъ всѣ внѣшнія силы, дѣйствующія на части рамы, разрѣзанной по точкамъ перегиба (фиг. 54).

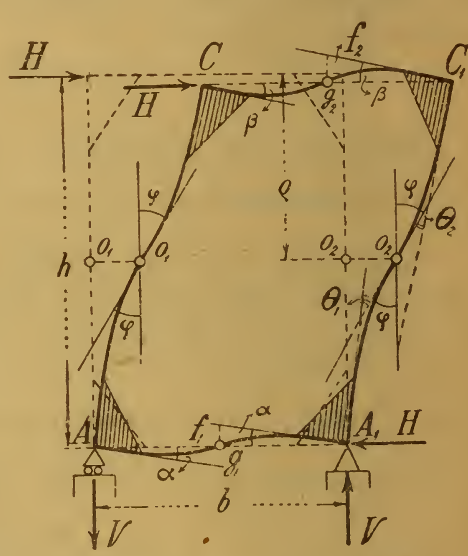
§ 12. Прямоугольная рама съ консольными угловыми листами (фиг. 55).

Въ основу разсчета обыкновенно принимаютъ слѣдующія допущенія: 1) пренебрегаютъ деформаціями отъ поперечныхъ и продольныхъ силъ по ихъ малости по сравненію съ деформаціями, соотвѣтствующими изгибаю-

щимъ моментамъ, 2) пренебрегаютъ относительнымъ сближенiемъ узловъ рамы, происходящимъ вслѣдствiе изгиба ея частей, и 3) угловыя консоли считаютъ абсолютно жесткими. При сдѣланныхъ допущенiяхъ разстоянiе между узлами C и C_1 и послѣ деформацiи рамы остается безъ измѣненiя, равнымъ b; слѣдовательно, эти узлы получаютъ одинаковыя перемѣщенiя. Соотвѣтственно съ этимъ ноги рамы прогибаются на одинаковую величину, что возможно, если онѣ одинаково нагружены, такъ какъ, по нашему предположенiю, жесткость ногъ—одинакова. Отсюда слѣдуетъ, что горизонтальная сила H, дѣйствующая на раму въ узлѣ C (фиг. 56), распредѣляется между верхними узлами рамы поровну. То же самое надо сказать и относительно силы H, дѣйствующей въ нижнемъ узлѣ A_1 (фиг. 56); половина этой силы передается въ узелъ A.



Фиг. 55. Рама съ угловыми консолями.



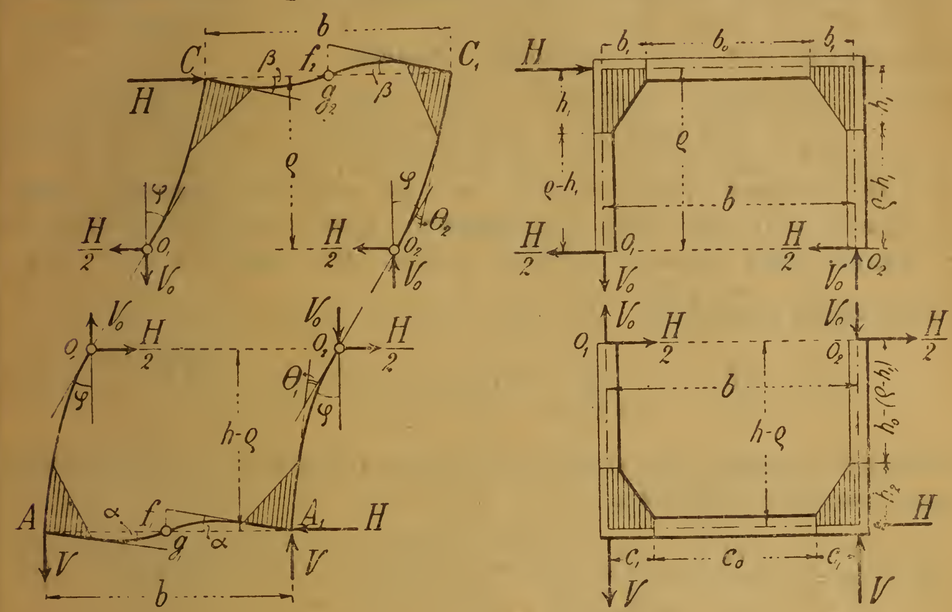
Фиг. 56. Деформацiя рамы. Точки перегиба обозначены кружками.

Точки перегиба распорокъ. При указанномъ распредѣленiи внѣшнихъ силъ между отдѣльными частями рамы, точки перегиба распорокъ необходимо должны совпасть съ ихъ серединами g_1 и g_2 (фиг. 56).

Точки перегиба ногъ. Положенiе точекъ перегиба ногъ намъ пока неизвѣстно. При сдѣланныхъ выше допущенiяхъ обѣ ноги изогнутся одинаково; ихъ точки перегиба расположатся на горизонтальной прямой, отстоящей отъ оси верхней распорки на ρ. Изъ условiя равновѣсiя каждой половины рамы (фиг. 57) получаемъ силы, дѣйствующiя въ точкахъ перегиба 0_1 и 0_2, а именно: горизонтальную силу $\frac{H}{2}$ и вертикальную $V_o = \frac{H.\rho}{b}$.

Если каждую изъ половинъ рамы разсѣчь по точкамъ перегиба распорокъ, т. е. по g_1 и g_2, и разсмотрѣть равновѣсiе угловъ рамы, найдемъ

силы, дѣйствующія въ точкахъ перегиба g_1 и g_2. Въ точкѣ g_1 имѣются горизонтальная сила $\frac{H}{2}$ и вертикальная $(V - V_0)$, а въ точкѣ g_2—гори-



Фиг. 57. Разрѣзъ деформированной рамы по точкамъ перегиба.

Фиг. 58. Разрѣзъ рамы по точкамъ перегиба.

зонтальная $\frac{H}{2}$ и вертикальная V_0. Проведемъ въ точкѣ перегиба 0_2 касательную къ изогнутой ногѣ рамы (фиг. 56). Касательная составитъ съ вертикалью уголъ φ, величина котораго можетъ быть выражена или въ зависимости отъ деформаціи нижней распорки и нижней части ноги, или же въ зависимости отъ деформаціи верхней распорки и верхней части ноги (фиг. 57). Въ первомъ случаѣ найдемъ $\varphi = \alpha + \theta_1$, а во второмъ—$\varphi = \beta + \theta_2$. Такимъ образомъ, получаемъ уравненіе:

$$\alpha + \theta_1 = \beta + \theta_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (55),$$

которое и послужитъ для опредѣленія разстоянія ρ. Углы α и β находимъ изъ слѣдующихъ соображеній. Непосредственно по чертежу имѣемъ:

$$\alpha = \frac{f_1}{0{,}5b} \quad \text{и} \quad \beta = \frac{f_2}{0{,}5b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (56).$$

Величины же f_1 и f_2 представляютъ прогибы балокъ пролетомъ $\frac{c_0}{2}$ и $\frac{b_0}{2}$, задѣланныхъ однимъ концомъ и нагруженныхъ силами, дѣйствующими въ g_1 и g_2, т. е. $(V - V_0)$ и V_0. Согласно формулѣ (46) имѣемъ:

$$f_1 = \frac{(V - V_0).\left(\frac{c_0}{2}\right)^3}{3E.I_u} \quad \text{и} \quad f_2 = \frac{V_0\left(\frac{b_0}{2}\right)^3}{3E.I_0} \quad \ldots\ldots (57).$$

Силы V и V_0 замѣняемъ ихъ величинами:

$$V = \frac{H.h}{b}, \quad V_0 = \frac{H.\rho}{b};$$

послѣ замѣны f_1 и f_2 ихъ значеніями, находимъ:

$$\alpha = \frac{H(h - \rho).c_0^3}{12.b^2.E.I_u} \text{ и } \beta - \frac{H.\rho.b_0^3}{12.b^2.E.I_0} \quad \ldots\ldots (58).$$

Что касается угловъ θ_1 и θ_2, то они получаются непосредственно по формулѣ (45), такъ какъ представляютъ углы поворота касательныхъ къ упругой линіи на концѣ брусковъ, задѣланныхъ однимъ концомъ и нагруженныхъ силой $\frac{H}{2}$:

$$\theta_1 = .\frac{H}{2} \frac{[h_0 - (\rho - h_1)]^2}{2E.I_n} \text{ и } \theta_2 = \frac{H}{2} . \frac{(\rho - h_1)^2}{2E.I_u} \quad \ldots . (59).$$

Найденныя значенія для угловъ: α β θ_1 и θ_2 вставляемъ въ составленное выше уравненіе; получаемъ:

$$\frac{H(h - \rho).c_0^3}{12.b^2.E.I_u} + \frac{H}{2} \frac{[h_0 - (\rho - h_1)]^2}{2E.I_n} = \frac{H.\rho.b_0^3}{12.b^2.E.I_0} + \frac{H}{2} \frac{(\rho - h_1)^2}{2E.I_u} . (60)$$

откуда разстояніе точки перегиба до оси верхней распорки:

$$\rho = \frac{c_0^3.\frac{I_n}{I_u} + 3.b^2(h_0 + 2h_1)\frac{h_0}{h}}{c_0^3.\frac{I_u}{I_u} + b_0^3.\frac{I_n}{I_0} + 6.b^2.h_0}.h \quad \ldots\ldots (61).$$

Частный случай. Предположимъ, что рама не имѣетъ угловыхъ консолей; въ уравненіи (61) надо положить:

$$c_0 = b_0 = b, \quad h_0 = h \text{ и } h_1 = o,$$

что приводитъ къ формулѣ, полученной нами раньше (см. фор. 53).

Послѣ опредѣленія точекъ перегиба дальнѣйшій разсчетъ рамы не представитъ затрудненій, такъ какъ намъ извѣстны внѣшнія силы, дѣйствующія на отдѣльныя части рамы (фиг. 58).

B. Фермы съ криволинейнымъ верхнимъ поясомъ.

При криволинейномъ верхнемъ поясѣ къ опорной рамѣ, кромѣ горизонтальной силы H, приложены еще вертикальныя силы K (фиг. 8). Эти добавочныя силы передаются на опоры рамы черезъ ея ноги, вызывая въ послѣднихъ дополнительныя продольныя усилія. Если при опредѣленіи точекъ перегиба вліянія продольныхъ и поперечныхъ силъ не учитывать, то

положенія точекъ перегиба отъ присутствія вертикальныхъ силъ K не перемѣнятся и, слѣдовательно, формулы (53) и (61) для величины ρ останутся тѣ же, при чемъ верхняя и нижняя распорки будутъ находиться въ такихъ же условіяхъ, какъ и при дѣйствіи на раму одной горизонтальной силы H.

Продольныя усилія ногъ будутъ зависить отъ устройства рѣшетки въ крайнихъ панеляхъ главныхъ фермъ:

1) при восходящихъ раскосахъ (фиг. 30) обѣ части ноги будутъ испытывать продольное усиліе

$$V_o = \frac{H.\rho}{b};$$

2) при нисходящихъ раскосахъ (фиг. 27) продольное усиліе въ ногахъ рамы будетъ

$$V_o = \frac{H.\rho}{b} + K,$$

такъ какъ въ этомъ случаѣ продольная сила K, возникающая отъ опрокидывающаго момента Σwz, приложена у верхняго конца рамы и передается на опоры черезъ всю длину ноги;

3) при полураскосахъ (фиг. 33 и 34) въ частяхъ ноги, считая отъ узла примыканія къ ней полураскосовъ, продольныя усилія будутъ различны; въ верхней части ноги продольное усиліе будетъ:

$$V_o' = \frac{H\rho}{b},$$

а въ нижней части ноги продольное усиліе будетъ на K больше:

$$V_o'' = \frac{H\rho}{b} + K.$$

Выводы.

Для мостовъ съ ѣздою по низу, симметрично нагруженныхъ въ узлахъ верхняго пояса, на основаніи разсмотрѣнныхъ примѣровъ вытекаютъ слѣдующія положенія:

1. Въ мостовыхъ фермахъ съ криволинейнымъ верхнимъ поясомъ опорныя рамы несутъ добавочную нагрузку, состоящую изъ двухъ силъ K, дѣйствующихъ вдоль ногъ рамы и приложенныхъ въ узлахъ примыканія раскосовъ главныхъ фермъ (фиг. 8 и 34).

2. При восходящихъ раскосахъ въ крайнихъ панеляхъ главныхъ фермъ (фиг. 30) кривизна верхняго пояса не оказываетъ на опорныя рамы никакого вліянія; послѣднія несутъ такую же нагрузку, какъ если бы верхній поясъ былъ горизонтальный (фиг. 40 и 31).

3. Криволинейность верхняго пояса не оказываетъ никакого вліянія на размѣры распорокъ опорныхъ рамъ.

4. Криволинейность верхняго пояса понижаетъ вѣтровыя усилія въ стержняхъ верхнихъ поясовъ, увеличиваетъ усилія въ нижнихъ поясахъ и вызываетъ небольшія усилія въ рѣшеткѣ главныхъ фермъ. Такимъ образомъ, криволинейность верхнихъ связей работу верхнихъ поясовъ перекладываетъ на нижніе растянутые пояса и отчасти на рѣшетку главныхъ фермъ. Слѣдовательно, верхній криволинейный поясъ обладаетъ большею боковою жесткостью, чѣмъ прямой (см. табл. 2 и табл. 11).

5. Вѣтровыя усилія, возникающія въ рѣшеткѣ и нижнихъ поясахъ главныхъ фермъ при давленіи вѣтра на узлы верхнихъ связей, не зависятъ отъ системы верхнихъ связей (см. § 6).

6. Наклонныя опорныя рамы очень мало вліяютъ на вѣтровыя усилія верхнихъ поясовъ и рѣшетки главныхъ фермъ, а главнымъ образомъ увеличиваютъ вѣтровыя усилія въ нижнихъ поясахъ мостовой фермы (см. табл. 2 и табл. 9).

7. Принятый въ практикѣ способъ разсчета вѣтровыхъ усилій, состоящій въ разсчетѣ плоской фермы съ пролетомъ, равнымъ разстоянію между опорами, и въ дѣленіи найденныхъ усилій на косинусы угловъ наклона стержней къ горизонту, даетъ *для поясовъ* верхнихъ связей усилія съ большимъ искаженіемъ противъ дѣйствительныхъ (см. табл. 8).

Для мостовъ съ ѣздою по верху:

1. Въ мостахъ съ ѣздою по верху наиболѣе нагруженнымъ является нижній поясъ задней фермы (считая по вѣтру), такъ какъ этотъ поясъ растянутъ и отъ вертикальной нагрузки, отъ давленія вѣтра на ферму и отъ внѣцентреннаго давленія вѣтра на проѣзжую часть и подвижной составъ.

2. Принятый въ практикѣ способъ разсчета усилій, вызываемыхъ давленіемъ вѣтра на криволинейный нижній поясъ, ведетъ къ ослабленію верхняго сжатаго пояса (см. таб. 16) и сильно искажаетъ вѣтровыя усилія въ нижнихъ поясахъ главныхъ фермъ.

П. Рабцевичъ.

Пространственныя фермы для биплановъ.

К. К. Симинскій.

Главная коробка биплана, состоящая изъ двухъ поддерживающихъ поверхностей и связей между ними, должна оказывать сопротивленіе нагрузкамъ во всевозможныхъ направленіяхъ. Она должна быть пространственной фермой*). Обыкновенно для образованія такой пространственной фермы пользуются 4-мя плоскими фермами, связывая ихъ поперечными связями. Связи устраиваются въ видѣ креста (перекрестныя діагонали) и располагаются въ поперечныхъ плоскостяхъ всѣхъ стоекъ. При такомъ образованіи пространственной фермы получается многократно статически неопредѣлимая система. Кромѣ общихъ недостатковъ статически неопредѣлимыхъ системъ, здѣсь будетъ еще одинъ существенный недостатокъ.

При сборкѣ аэроплановъ, передъ полетомъ, аппаратъ необходимо „регулировать", послѣ всякаго продолжительнаго полета его „подрегулировываютъ", т. е. натягиваютъ расшатавшіяся части. Бываютъ случаи, что подтягиваніе какого-нибудь тросса сравнительно небольшою силой, вызываетъ выпучиваніе стальныхъ трубъ вдали отъ натягиваемаго тросса. Успѣхъ регулировки всегда зависитъ отъ искусства и опытности монтера.

Такъ какъ необходимость регулировки въ значительной степени зависитъ отъ статической неопредѣлимости коробки аэроплана, то статическая неопредѣлимость—большой недостатокъ аппарата.

Слѣдуетъ пользоваться статически опредѣлимыми пространственными фермами, а если по конструктивнымъ или инымъ соображеніямъ это будетъ невозможно, то надо понижать степень статической неопредѣлимости.

Здѣсь будетъ приведено нѣсколько пространственныхъ системъ для главной коробки биплана. При этомъ въ большинствѣ преслѣдуется цѣль дать такую коробку, которая по серединѣ имѣетъ ось вращенія для туловища (fuselage) аэроплана. Существованіе такой оси даетъ возможность быстро измѣнять уголъ атаки, и можетъ имѣть значеніе въ современныхъ аэропланахъ.

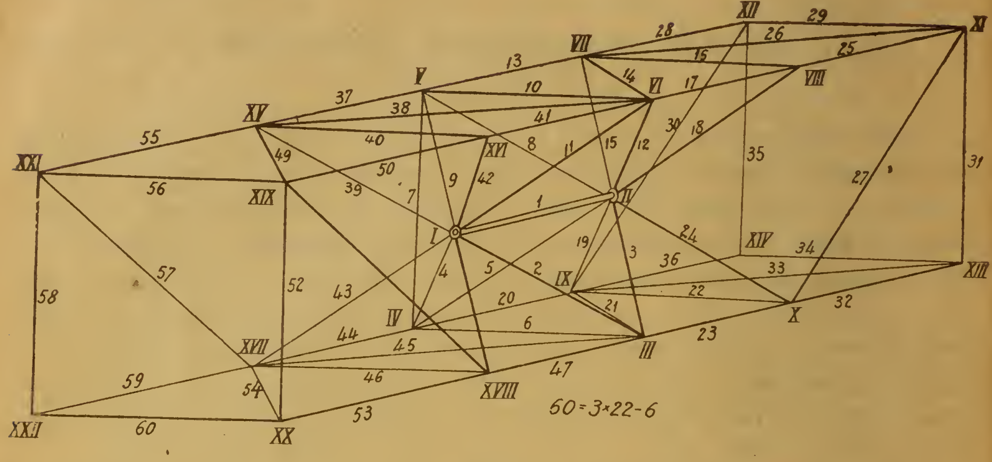
Первый примѣръ. На фиг 1 представленъ примѣръ простѣйшей фермы съ осью вращенія I—II. Число стержней этой системы удовлетворяетъ условію статической опредѣлимости

$$S = 3n - 6$$

для свободной пространственной системы. Дѣйствительно, система имѣетъ 22 шарнира, обозначенныхъ римскими цифрами, и 60 стержней, отмѣчен-

*) Слово „ферма" здѣсь употреблено, какъ терминъ (см. Извѣстія Кіевск. Политехн. Института за 1914 г. кн. 3, стр 227).

ныхъ арабскими. Геометрическая неизмѣняемость усматривается изъ способа образованія фермы.



Фиг. 1.

Принимая стержень I—II за исходный, прикрѣпимъ къ нему шарниръ III посредствомъ двухъ стержней 2 и 3; къ полученному треугольнику I—II—III прикрѣпимъ шарниръ IV посредствомъ трехъ стержней 4, 5 и 6; затѣмъ, шарниръ V прикрѣпимъ посредствомъ трехъ стержней 7, 8 и 9; далѣе шарниръ VI прикрѣпимъ стержнями 10, 11 и 12. Продолжая дальше прикрѣплять каждый новый шарниръ тремя стержнями въ томъ порядкѣ, который указанъ нумерами шарнировъ и стержней, мы получимъ систему, представленную на фиг. 1. При этомъ окажется, что всѣ шарниры системы связаны съ исходнымъ треугольникомъ I—II—III путемъ прикрѣпленія тремя стержнями, лежащими не въ одной плоскости. Слѣдовательно, предложенная система представляетъ ферму *). Она неизмѣняема, не смотря на отсутствіе поперечныхъ связей по концамъ.

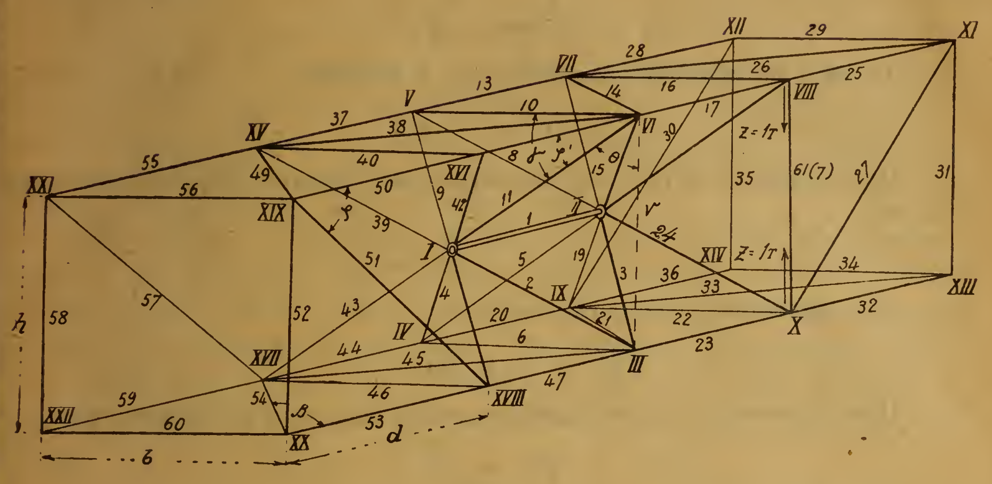
Число панелей справа и слѣва можетъ быть произвольно увеличено Если увеличеніе сдѣлать по тому же способу образованія, то получится рядъ панелей безъ поперечныхъ связей, при сохраненіи геометрической неизмѣняемости.

Деформація такой системы можетъ происходить только за счетъ удлиненія и сжатія брусковъ системы, но это — малыя величины, часто не имѣющія практическаго значенія.

Второй примѣръ. Ферму фиг. 1 можно преобразовать, если требуется удалить вертикальную стойку 7, чтобы ею не дырявить туловища (fuselage) аэроплана. Допускается перенесеніе стойки въ одинъ изъ сосѣднихъ узловъ той же грани или перенесеніе на противоположную грань, напримѣръ: стойку можно помѣстить въ положеніе VII—IX, или въ положеніе XV—XVII на задней грани фермы, или въ соотвѣтствующія положенія на

*) См. Извѣстія Кіевск. Политехн. Института за 1914 г. кн. 3, стр. 230.

передней грани. Покажемъ, что и преобразованная система фиг. 2 представляетъ ферму.



Фиг. 2.

Удалимъ стержень 61 и вмѣсто него введемъ возмѣщающій стержень V, чтобы обратить преобразованную систему въ простѣйшую ферму. Найдемъ усиліе возмѣщающаго стержня, вызванное силой замѣняемаго, равной единицѣ.

Для упрощенія изслѣдованія примемъ, что,

$$b = h = d$$

ось I—II находится на половинѣ высоты h и равна длинѣ панели d. Тогда:

$$\operatorname{Sin} \varphi = \cos \varphi = \sqrt{1/2} \quad ; \quad \operatorname{tg} \varphi = 1$$

$$\operatorname{Sin} \beta = \cos \beta = \sqrt{1/2} \quad ; \quad \operatorname{tg} \beta = 1$$

$$\operatorname{Sin} \varphi' = \sqrt{2/3} \quad ; \quad \cos \varphi' = \sqrt{1/3}$$

$$\operatorname{Sin} \gamma = \sqrt{2/3} \quad ; \quad \cos \gamma = \sqrt{1/3}$$

$$\operatorname{Sin} \theta = \sqrt{2/3} \quad ; \quad \cos \theta = \sqrt{1/3}$$

Убѣждаемся, что при дѣйствіи однѣхъ только внѣшнихъ силъ Z, приложенныхъ въ шарнирахъ VIII и X, усилія въ стержняхъ 36, 34 и 35; 28, 29 и 30; 27, 26 и 25 — нули, такъ какъ въ каждомъ изъ послѣдовательно отбрасываемыхъ шарнировъ находится всего по 3 силы *). На томъ же основаніи получаемъ нули въ стержняхъ 60, 59 и 58; 57, 56 и 55; 54, 53 и 52; 51, 50 и 49; 48, 47 и 46; 45, 44 и 43; 42, 41 и 40; 39, 38 и 37.

*) См. стр. 39 моихъ лекцій по статикѣ сооруженій вып. III: Пространственныя фермы. Кіевъ, 1912 г.

Изъ уравненія проекцій на вертикальную ось для всѣхъ силъ шарнира VIII получимъ **)

$$\overline{18} = -\sqrt{3}.$$

Такимъ же образомъ изъ шарнира X найдемъ

$$\overline{24} = -\sqrt{3}.$$

Проектируя силы тѣхъ же шарнировъ на горизонтальную ось 16 и 22, найдемъ:

$$\overline{16} = 1 \text{ и } \overline{22} = 1.$$

Изъ шарнировъ VII и IX находимъ:

$$\overline{15} = 0 \text{ и } \overline{19} = 0.$$

При проектированіи на горизонтальную ось 16 и 22, получимъ

$$\overline{14} = -\sqrt{2} \text{ и } \overline{21} = -\sqrt{2}.$$

При проектированіи на горизонтальную продольную ось, найдемъ

$$\overline{13} = 1 \text{ и } \overline{20} = 1.$$

Изъ шарнира V прежде всего находимъ, что $\overline{10} = 0$; затѣмъ, составляя два уравненія проекцій на вертикальную и продольную горизонтальную ось, получаемъ:

$$\overline{9} = \frac{1}{2}\sqrt{3} \text{ и } \overline{8} = -\frac{1}{2}\sqrt{3}.$$

Такъ же получаемъ

$$\overline{6} = 0, \quad \overline{4} = \frac{1}{2}\sqrt{3} \text{ и } \overline{5} = -\frac{1}{2}\sqrt{3}.$$

Въ шарнирѣ II составляемъ сначала уравненія проекцій на вертикальную ось и на горизонтальную поперечную ось, при чемъ находимъ:

$$\overline{3} = \overline{12} = \frac{1}{2}\sqrt{3}.$$

Затѣмъ пишемъ проекціи на горизонтальную продольную ось, откуда получаемъ:

$$\overline{1} = -2.$$

Переходимъ къ шарниру VI. Проектируя всѣ силы шарнира на вертикальную ось, находимъ:

$$V = -1.$$

Итакъ, усиліе возмѣщающаго стержня не равно нулю. Поэтому изслѣдуемая система со стержнемъ 61 представляетъ ферму.

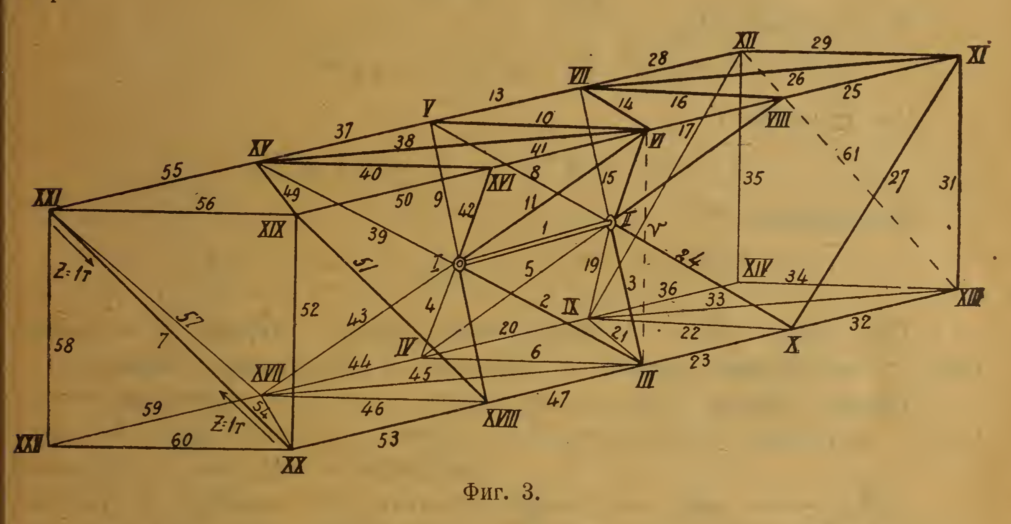
**) Черта сверху, надъ нумеромъ стержня, ставится вмѣсто словъ „усиліе стержня".

Такимъ же образомъ можно убѣдиться въ неизмѣняемости системы съ вертикальной стойкой, соединяющей какіе-нибудь два шарнира задней грани XXII—XII.

Перемѣщая вправо или влѣво среднюю стойку 7 фиг. 1, мы неизбѣжно нарушаемъ симметрію фермы и ея уравновѣшенность. Поэтому, практически, вмѣсто одной, будетъ помѣщено двѣ стойки. Ферма будетъ имѣть одинъ лишній стержень, т. е. окажется однажды статически неопредѣлимою. Слѣдуетъ имѣть въ виду, что эта неопредѣлимость отразится только на средней части фермы, между двумя стойками.

Третій примѣръ представленъ на фиг. 3. Это — также преобразованная ферма, но безъ вертикальныхъ стоекъ. Вмѣсто стоекъ здѣсь—діагонали въ поперечныхъ рамахъ. Покажемъ, что при наличности одной діагонали въ одной изъ поперечныхъ рамъ получается статически опредѣлимая ферма.

Разсмотримъ систему съ діагональю 7 при отсутствіи діагонали 61 (фиг. 3) и при тѣхъ же геометрическихъ данныхъ, что во второмъ примѣрѣ.



Фиг. 3.

Для изслѣдованія удалимъ стержень 7 и замѣнимъ его возмѣщающимъ стержнемъ V, соединяющимъ шарниры III и VI. Вмѣсто стержня 7 примемъ силы $Z = 1$.

При отсутствіи стержня 61 усилія:

36, 35 и 34; 33, 32 и 31; 30, 29 и 28; 27, 26 и 25; 24, 23 и 22; 21, 20 и 19; 18, 17 и 16; 15, 14 и 13

окажутся порознь равными нулю. Въ этомъ убѣждаемся, разсматривая равновѣсіе шарнировъ XIV—VII въ порядкѣ нисходящихъ нумеровъ.

Затѣмъ изъ шарнира V находимъ, что $\overline{10} = 0$

Изъ шарнира IV „ $\overline{6} = 0$

Изъ шарнира XVI находимъ, что $\overline{40} = 0$ и $\overline{42} = 0$

Изъ шарнира XV " $\overline{39} = 0$

Изъ шарнира XXII находимъ:

$$\overline{60} = 0,\quad \overline{59} = 0 \quad \text{и} \quad \overline{58} = 0.$$

Изъ шарнира XXI получаемъ:

$$\overline{56} = -\sqrt{1/2},\quad \overline{57} = -1 \quad \text{и} \quad \overline{55} = \sqrt{1/2}.$$

Изъ шарнира XX:

$$\overline{54} = -1,\quad \overline{52} = -\sqrt{1/2} \quad \text{и} \quad \overline{53} = \sqrt{1/2}.$$

Изъ шарнира XIX:

$$\overline{49} = 0,\quad \overline{51} = 1 \quad \text{и} \quad \overline{50} = -2\sqrt{1/2}.$$

Изъ шарнира XVI:

$$\overline{41} = -2\sqrt{1/2}.$$

Изъ шарнира XV:

$$\overline{38} = -1 \quad \text{и} \quad \overline{37} = 3\sqrt{1/2}.$$

Изъ шарнира V:

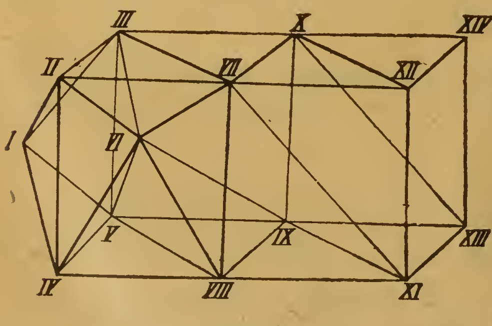
$$\overline{9} = -1{,}5\sqrt{3/2} \quad \text{и} \quad \overline{8} = 1{,}5\sqrt{3/2}.$$

Изъ шарнира VI:

$$\overline{11} = 2\sqrt{3/2} \quad \text{и} \quad \overline{12} = -\sqrt{3/2} \quad \text{и} \quad V = -\sqrt{1/2}.$$

Такъ какъ при $\overline{7} = 1$ усиліе возмѣщающаго стержня V не равно нулю, то изслѣдуемая система со стержнемъ 7 представляетъ ферму.

Такимъ образомъ, для неизмѣняемости системы не требуется стержня 61, достаточно одной діагонали въ лѣвой поперечной рамѣ. Въ дѣйствительности стержень 61 придется помѣстить для симметріи и уравновѣшенія фермы, такъ что, въ примѣненіи къ коробкѣ аэроплана, третій примѣръ даетъ однажды статически неопредѣлимую ферму такъ же, какъ примѣръ № 2.

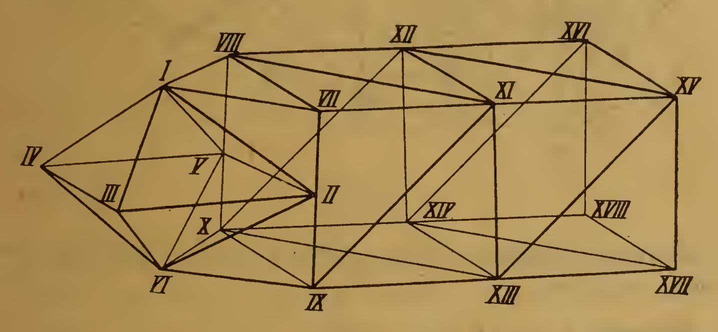


Фиг. 4.

Четверый примѣръ. Другой рядъ пространственныхъ фермъ получается, если за ядро для фермы принять октаэдръ. Примѣръ статически опредѣлимой фермы съ такимъ ядромъ представленъ на фиг. 4. Здѣсь показана только правая часть фермы вмѣстѣ съ ядромъ I—II—III—IV—V—VI. Лѣвая часть можетъ быть построена по способу образованія

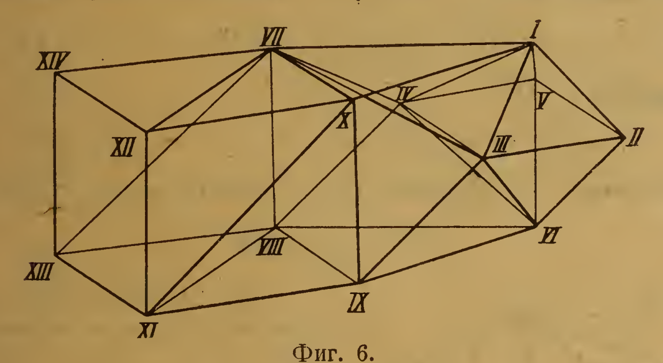
правой части. Статическая опредѣленность *) системы доказывается, если принять во вниманіе, что октаэдръ I—II—III—IV—V—VI—статически опредѣленная система, и каждый послѣдующій шарниръ VII, VIII... XIV прикрѣпленъ тремя стержнями, лежащими въ разныхъ плоскостяхъ. Особенность фермы—отсутствіе стержня I — VI. Если здѣсь будетъ помѣщена ось вращенія I—VI для туловища аэроплана, то ее можно освободить отъ всякихъ усилій со стороны фермы.

Пятый примѣръ. Второй примѣръ статически опредѣлимой фермы получится, если ось октаэдра I—VI помѣстить вертикально и расположить остальные стержни системы, какъ показано на фиг. 5, фиг. 6 или фиг. 7.



Фиг. 5.

На фиг. 5 и 6 къ октаэдру I—II—III—IV—V—VI прикрѣпляются тремя стержнями, расположенными въ разныхъ плоскостяхъ, каждый изъ



Фиг. 6.

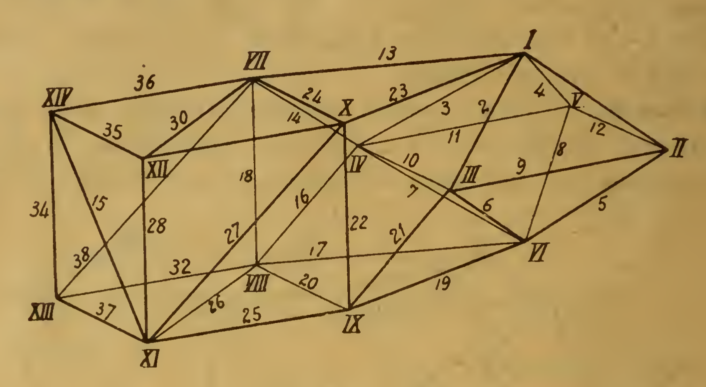
послѣдующихъ шарнировъ VII, VIII... XIV, и потому статическая опредѣленность системы очевидна. Система на фиг. 7 преобразована, и статическая опредѣленность ея требуетъ доказательства.

Упростимъ изслѣдованіе тѣмъ, что перенесемъ діагональ 15 изъ поперечной рамы XIV—XI въ раму VII—IX; отъ этого кинематическія свойства изслѣдуемой системы не измѣнятся, но будетъ возможно отбросить всю лѣвую панель на фиг. 7 и изслѣдовать систему фиг. 8.

---

*) Терминъ см. на стр. 238 Извѣстій Кіевскаго Политехническаго Института за 1914 годъ.

Обратимъ затѣмъ систему (фиг. 8) со стержнемъ 15′ въ такую, какъ представлена на фиг. 6 въ части VII—VIII—III, и найдемъ усиліе возмѣщающаго стержня V, вызванное силой $Z = 1$, приложенной вмѣсто удаляемаго стержня 15′.



Фиг. 7.

Для простоты примемъ тѣ же геометрическія данныя, что были въ фиг. 1; тогда получимъ:

Изъ шарнира X:

$$\overline{22} = 0, \quad \overline{23} = 0 \quad \text{и} \quad \overline{24} = 0.$$

Изъ шарнира IX:

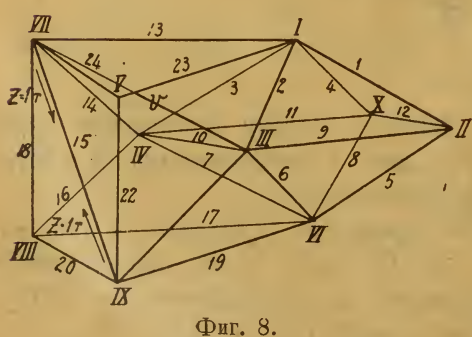
$$\overline{21} = -1, \quad \overline{19} = {}^1/_2 \sqrt{{}^5/_2} \quad \text{и} \quad \overline{20} = -1{,}5 \sqrt{{}^1/_2}.$$

Изъ шарнира VIII:

$$\overline{17} = 1{,}5 \sqrt{{}^5/_2}, \quad \overline{16} = -3 \quad \text{и} \quad \overline{18} = 3 \sqrt{{}^1/_2}.$$

Изъ шарнира VII находимъ усиліе возмѣщающаго стержня:

$$V = -1{,}5 \sqrt{3}.$$



Фиг. 8.

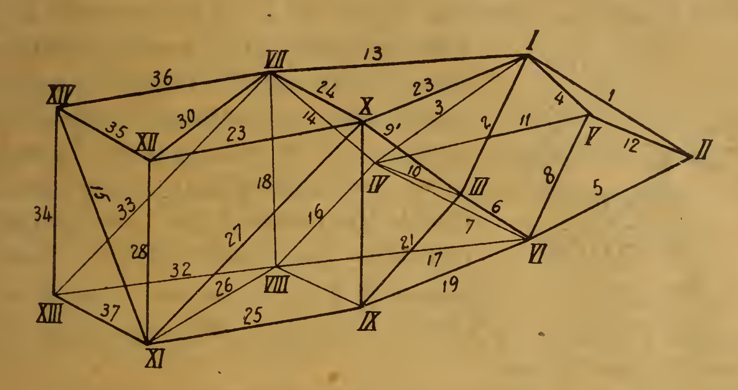
Это усиліе не равно нулю. Поэтому изслѣдуемая система со стержнемъ 15′ на фиг. 8 представляетъ ферму.

Конечно, фермою будетъ и система, изображенная на фиг. 7. Очевидно также, что діагональ 15 можетъ быть помѣщена въ любой поперечной рамѣ лѣвой части фермы и должна быть помѣщена одинъ только разъ.

Если по другую сторону ядра, именно, вправо (фиг. 7) помѣстить стержни такимъ же образомъ, какъ они размѣщены слѣва, то получится

статически опредѣлимая ферма, симметричная относительно срединной поперечной вертикальной плоскости.

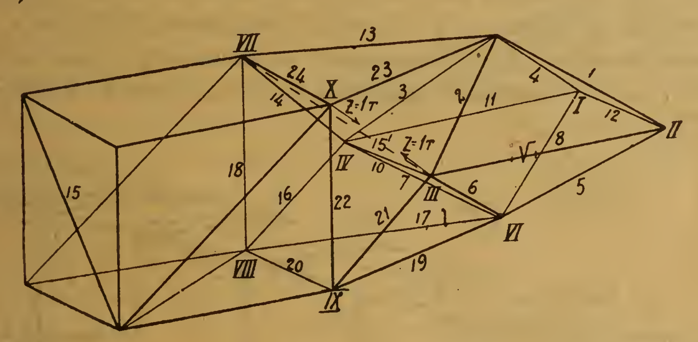
Шестой примѣръ. Удаляя 9-й стержень изъ фермы фиг. 7 и замѣняя его стержнемъ 9′, получимъ ферму съ однимъ горизонтальнымъ стержнемъ въ



Фиг. 9.

средней части фермы. Такая преобразованная система изображена на фиг. 9. Остается убѣдиться, что это—ферма.

Какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ, перемѣстимъ стержень 15 въ положеніе 15′ и преобразуемъ изслѣдуемую систему въ ферму, изображенную на фиг. 10*).



Фиг. 10.

Тогда будетъ основаніе отбросить лѣвую панель XIV—IX и получить отъ нагрузки $Z = 1$, слѣдующія усилія въ остальныхъ стержняхъ:

Изъ шарнира X: $\overline{22} = -\sqrt{1/2}$, $\overline{23} = -{}^1/_2\sqrt{5/2}$, $\overline{24} = {}^1/_2\sqrt{1/2}$.

Изъ шарнира IX: $\overline{21} = 1$; $\overline{19} = -{}^1/_2\sqrt{5/2}$ и $\overline{20} = {}^1/_2\sqrt{1/2}$.

Изъ шарнира VIII: $\overline{17} = -{}^1/_2\sqrt{5/2}$, $\overline{16} = 1$ и $\overline{18} = -\sqrt{1/2}$

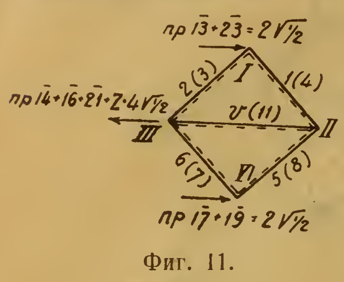
Изъ шарнира VII: $\overline{13} = -{}^1/_2\sqrt{5/2}$, $\overline{15'} = 0$ и $\overline{14} = 1$.

---

*) На фиг. 10 пропущенъ стержень 30 (см. фиг. 9); необходимо его дочертить.

Для дальнѣйшаго изслѣдованія воспользуемся тѣмъ, что октаэдрическое ядро проектируется на вертикальную плоскость симметріи, какъ плоская ферма, и весь расчетъ переведемъ на эту плоскость (фиг. 11).

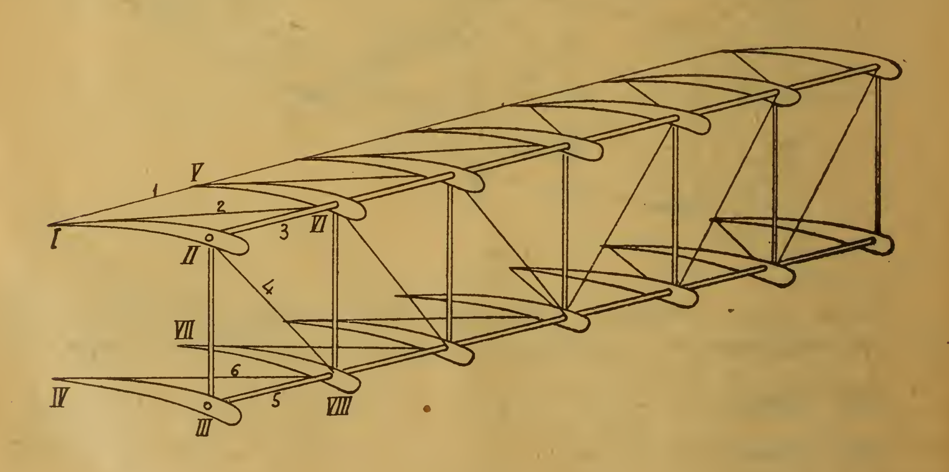
Внѣшними силами плоской фермы будутъ: проекціи усилій 13 и 23 въ верхнемъ шарнирѣ, проекціи усилій 17 и 19 въ нижнемъ шарнирѣ и сумма проекцій усилій, приложенныхъ въ шарнирахъ III и IV (фиг. 9). При этомъ изъ шарнира I опредѣлится равнодѣйствующая усилій 1 и 4, равная — 1, и изъ шарнира VI опредѣлится такая же равнодѣйствующая для стержней 5 и 8. Въ такомъ случаѣ изъ шарнира II (V) получится равнодѣйствующая усилій V и 11, равная $2\sqrt{^1|_2}$, такъ что усиліе возмѣщающаго стержня V будетъ $\sqrt{^1|_2}$, т. е. не нуль. Слѣдовательно, наша система представляетъ ферму.



Фиг. 11.

Такимъ образомъ, одинъ изъ фасадныхъ горизонтальныхъ стержней октаэдра (9 фиг. 8) можно замѣнить діагональнымъ стержнемъ 9′ фиг. 9. Очевидно, такую замѣну можно сдѣлать со всякимъ другимъ изъ горизонтальныхъ стержней октаэдра: это слѣдуетъ изъ симметріи усилій горизонтальныхъ стержней. Если удалимъ стержень 12, то получится ферма со свободнымъ затылочнымъ пространствомъ между шарнирами II и V, что можетъ быть использовано для помѣщенія здѣсь конструктивныхъ осей въ случаѣ примѣненія фермы для туловища аэроплана (fuselage).

Седьмой примѣръ. Для уменьшенія аэродинамическихъ сопротивленій надо стремиться къ возможно меньшему числу стержней. Значительное со-



Фиг. 12.

кращеніе ихъ даетъ удаленіе одной изъ стѣнокъ; верхніе и нижніе стержни не вліяютъ на сопротивленіе, такъ какъ находятся въ крыльяхъ аэроплана.

Поэтому понятно стремленіе перейти къ одностѣнчатымъ коробкамъ. Для малыхъ аэроплановъ эта мысль осуществима, что доказывается аппаратомъ Bréguet. Остается найти статически опредѣлимую пространственную ферму для такой коробки.

На фиг. 12 приведено одно изъ рѣшеній задачи. Нѣсколько жесткихъ рамъ, напримѣръ рамы I—II—III—IV и V—VI—VII—VIII, скрѣпляются одна съ другою шестью стержнями 1, 2, 3, 4, 5 и 6, расположенными надлежащимъ образомъ. Неизмѣняемость системы, получающейся при такомъ способѣ образованія уже доказана*), необходимо только отмѣтить, что жесткость рамъ системы должна быть надлежаще обезпечена.

Въ аэропланахъ постоянно употребляются стальныя трубы, которыя свариваются въ самыхъ сложныхъ узловыхъ соединеніяхъ. Этой сваркой и слѣдуетъ воспользоваться для приданія рамамъ надлежащей жесткости. Если этого окажется недостаточно, то можно прибѣгнуть къ узловымъ подкосамъ.

Слѣдуетъ обратить еще вниманіе на то, что въ одномъ изъ крыльевъ аэроплана можно обойтись однимъ лонжерономъ, такъ какъ и безъ другого лонжерона получается неизмѣняемая система.

Если еще принять къ свѣдѣнію, что стойки можно помѣстить такъ, чтобы черезъ точки ихъ прикрѣпленія къ крыльямъ проходила равнодѣйствующая давленія вѣтра на крыло, то стойки рамъ будутъ избавлены отъ изгиба при нормальныхъ условіяхъ работы аэроплана. При этомъ рамы окажутся достаточно легкими, и весь аппаратъ, возможно, не будетъ тяжелѣе аппарата съ двумя стѣнками; сопротивленіе же движенію будетъ несравненно меньше.

Фиг. 13.

Другой способъ использованія жесткихъ рамъ показанъ на фиг. 13, гдѣ рамы I—II—III—IV и V—VI—VII—VIII скрѣплены шестью стержнями 1, 2, 3, 4, 5 и 6. Хотя здѣсь коробка двустѣнчатая, но на панель прибавляется только одинъ лишній стержень сравнительно съ предыдущимъ примѣромъ. Благодаря этому, сопротивленіе движенію увеличивается не такъ сильно. Въ геометрической неизмѣняемости системы убѣждаемся при изслѣдованіи по способу, изложенному на стр. 281-283 Извѣстій Кіевскаго Политехническаго Института за 1914 годъ въ статьѣ „Къ образованію пространственныхъ фермъ для мостовъ“.

---

*) См. 281 стр. Извѣстій Кіевскаго Политехническаго Института за 1914 г..

О развитіи лабораторіи для механическаго испытанія матеріаловъ (механической лабораторіи) при Кіевскомъ Политехническомъ Институтѣ.

К. К. Симинскій.

I. Общія соображенія объ организаціи станцій для испытанія строительныхъ матеріаловъ при высшихъ учебныхъ заведеніяхъ.

Однимъ изъ средствъ содѣйствія развитію техники производства строительныхъ матеріаловъ являются станціи для испытанія этихъ матеріаловъ. Съ одной стороны, испытанія даютъ потребителю продукта увѣренность въ опредѣленныхъ его качествахъ, съ другой стороны.—производители побуждаются къ выработкѣ продуктовъ опредѣленнаго качества. Кромѣ того, станціи испытанія матеріаловъ, изслѣдуя продукты и опубликовывая результаты своихъ изслѣдованій, служатъ освѣдомительнымъ органомъ для потребителя, какъ бы постоянной выставкой и экспертнымъ учрежденіемъ. При надлежащей организаціи и обезпеченіи станцій научными силами, станціи выполняютъ весьма важную задачу разработки научно-техническихъ вопросовъ и такимъ образомъ содѣйствуютъ улучшенію производства. Одновременно съ этимъ станціи могутъ производить обслѣдованіе природныхъ богатствъ края и предоставлять результаты этого обслѣдованія промышленности и технической наукѣ.

Все это говоритъ о важномъ государственномъ и мѣстномъ значеніи станцій.

Въ западно-европейскихъ государствахъ это значеніе вполнѣ сознается правительствами. Германія въ настоящее время покрыта сѣтью станцій для испытанія матеріаловъ. Эта сѣть, повидимому, развивалась систематически и притомъ очень быстро, такъ какъ несмотря на то, что на путь устройства лабораторій для испытанія матеріаловъ она стала послѣ Россіи,—Германія теперь считается первой страной по числу испытательныхъ станцій. Въ Австріи въ 1910 году при Министерствѣ Общественныхъ работъ учреждено спеціальное отдѣленіе для содѣйствія развитію испытанія матеріаловъ.

Въ Россіи положеніе иное. Хотя въ Россіи еще въ 1853 году, впервые на континентѣ Европы, была устроена лабораторія для испытанія матеріаловъ при Институтѣ Инженеровъ Путей Сообщенія, гдѣ съ 1874 года до

настоящаго времени работаетъ профессоръ Николай Аполлоновичъ Бѣлелюбскій, съ неослабной энергіей пропагандирующій развитіе идей по испытанію матеріаловъ и устройству станцій для этого испытанія, и хотя въ Россіи съ тѣхъ поръ появились лучшія въ мірѣ учебныя лабораторіи, но за шестидесятилѣтній періодъ не открыто ни одной новой правительственной станціи для обслуживанія нуждъ техники и промышленности. И только въ послѣдніе годы вопросъ объ учрежденіи правительственныхъ станцій для испытанія матеріаловъ поставленъ на очередь. Въ Петроградѣ въ 1914 г. учреждена прекрасная лабораторія Военнаго вѣдомства. Къ сожалѣнію, эта лабораторія—„вѣдомственная". Вѣроятно, скоро будетъ устроена юговосточная станція для испытанія матеріаловъ по мысли профессора Н. М. Абрамова, положившаго много энергіи для осуществленія своихъ предположеній объ этой станціи. Наконецъ, Министерство Торговли и Промышленности имѣетъ въ виду заняться разработкою вопроса объ организаціи сѣти станцій для испытанія матеріаловъ. Объ этомъ оффиціально заявилъ г. Начальникъ Учебнаго Отдѣла Министерства Торговли и Промышленности при посѣщеніи имъ въ октябрѣ 1916 года Механической лабораторіи Кіевскаго Политехническаго Института. Очевидно, потребность въ станціяхъ для испытанія матеріаловъ сознается многими вѣдомствами правительства и настало для Россіи время, когда необходимо развивать такія станціи. Но эта необходимость только сознается вѣдомствами, потребность же въ станціяхъ не удовлетворяется; и пока Россія покроется сѣтью станцій согласно плану, вѣроятно, разрабатываемому въ центральныхъ учрежденіяхъ, пройдутъ годы, какъ проходили они до сихъ поръ.

Промышленная же жизнь стоять не можетъ. Она развивается своимъ чередомъ и всѣми доступными ей способами ищетъ путей для разрѣшенія назрѣвающихъ научно-техническихъ вопросовъ. Въ труднѣйшихъ случаяхъ ей приходится обращаться къ учебнымъ заведеніямъ.

Къ высшимъ учебнымъ заведеніямъ обращаются города, земства, суды, управленія желѣзныхъ дорогъ, округи путей сообщенія и прочія правительственныя и частныя техническія учрежденія, а также частныя лица. Заключенія учебныхъ заведеній всегда считаются компетентными, и къ нимъ охотно прибѣгаютъ.

Грандіозная міровая война, въ которой Россія играетъ важнѣйшую роль, поставила передъ высшими учебными заведеніями новыя задачи.

Война потребовала чрезвычайнаго напряженія силъ отъ всѣхъ отраслей народнаго хозяйства и особенно отъ техники и технической науки. Фронту и предпріятіямъ, работающимъ для фронта, необходимо разрѣшеніе многихъ научно-техническихъ вопросовъ и, въ частности, испытаніе матеріаловъ. Но страна оказалась неподготовленною для удовлетворенія этихъ запросовъ фронта: у насъ нѣтъ необходимыхъ испытательныхъ станцій. Заводы, работающіе на оборону, автомобильныя роты, авіаціонныя мастер-

скія и другія техническія части Арміи стали съ лихорадочной поспѣшностью устраивать необходимыя имъ испытательныя лабораторіи, такъ какъ не только вблизи, но и въ сосѣднихъ районахъ такія лабораторіи часто отсутствовали. Но эта задача многимъ оказалась не подъ силу, какъ вслѣдствіе отсутствія необходимаго оборудованія, такъ и по отсутствію спеціально подготовленнаго персонала. Пришлось и здѣсь обратиться къ высшимъ техническимъ учебнымъ заведеніямъ и направлять имъ заказы, какъ по испытанію матеріаловъ, такъ и по провѣркѣ измѣрительныхъ приборовъ и машинъ.

Такимъ образомъ, съ одной стороны промышленность, правительственныя и общественныя организаціи, а съ другой стороны части войскъ обращаются въ Механическую лабораторію высшаго учебнаго заведенія въ надеждѣ получить тамъ разрѣшеніе самыхъ разнообразныхъ вопросовъ, и это обращеніе становится все болѣе и болѣе частымъ. Посмотримъ, могутъ ли они найти удовлетвореніе при той организаціи, которую оффиціально имѣютъ Механическія лабораторіи высшихъ учебныхъ заведеній.

Штатъ Механической лабораторіи, исполняющій текущую работу въ лабораторіи, обыкновенно состоитъ изъ лаборанта, слесаря или механика и служителя. Мѣсячный окладъ ихъ:

лаборантъ	80 — 100	р.
слесарь	40 — 80	„
служитель	20 — 40	„

Лабораторія предназначается для учебныхъ занятій студентовъ нѣсколькихъ отдѣленій (факультетовъ), обыкновенно:—Инженернаго, Механическаго, Химическаго. При нормальныхъ условіяхъ лабораторія пропускаетъ отъ 100 до 300 [1]) студенто-часовъ въ недѣлю, причемъ студенты исполняютъ разнообразныя упражненія, мѣняющіяся каждую недѣлю въ лабораторной постановкѣ, благодаря недостатку оборудованія и тѣснотѣ помѣщенія. При такихъ условіяхъ штатъ лабораторіи едва въ состояніи выполнять учебныя задачи и совершенно лишенъ возможности брать на себя какія-либо иныя порученія.

Если принять во вниманіе ничтожность окладовъ, то придемъ къ еще болѣе тяжелому выводу: найти такой штатъ весьма трудно: онъ можетъ составиться лишь изъ идеалистовъ, которые будутъ связаны съ лабораторіей не однѣми оффиціальными обязанностями. Но при современныхъ условіяхъ жизни разсчитывать на такихъ идеалистовъ не приходится, и потому даже учебныя занятія не всегда оказываются обезпеченными солидно подготовленнымъ лаборантомъ и механикомъ.

Конечно, не можетъ быть и рѣчи объ исполненіи порученій промыш-

---

[1]) Въ Кіевскомъ Политехническомъ Институтѣ въ періодъ 1911—1914 г.

ленности и фронта, если исходить изъ оффиціальной организаціи лабораторіи.

Этими обстоятельствами объясняется, почему военные, часто такъ много ожидающіе отъ Механической лабораторіи, посѣщая ее, обыкновенно разочаровываются и винятъ учебный персоналъ. Но вина здѣсь не въ персоналѣ, а въ томъ, что правительствомъ ничего не сдѣлано для того, чтобы лабораторія могла обслуживать запросы неучебнаго характера: лабораторіи оффиціально назначаются исключительно для учебныхъ цѣлей.

Въ исторіи Механической лабораторіи Кіевскаго Политехническаго Института наблюдалось различное отношеніе къ неучебной дѣятельности лабораторіи при смѣнѣ завѣдующихъ. Бывали періоды интенсивной дѣятельности и полнаго затишья; такъ что участіе въ разработкѣ задачъ, общее значеніе которыхъ указывалось въ началѣ записки, зависѣло всегда отъ личныхъ особенностей завѣдующаго лабораторіей или лаборанта.

Съ такимъ положеніемъ мириться нельзя, необходимо оффиціально привлечь лабораторіи къ участію въ общегосударственной работѣ содѣйствія развитію техники и промышленности и къ учебнымъ задачамъ лабораторіи прибавить задачи испытательно-контрольной станціи и научной лабораторіи.

Такимъ образомъ, сама жизнь указываетъ порядокъ развитія сѣти испытательныхъ станцій въ Россіи: сначала надо использовать учебныя заведенія и существующія при нихъ лабораторіи, а затѣмъ увеличивать число станцій путемъ устройства новыхъ. При такомъ порядкѣ потребуется наименьше расходовъ и цѣль достигается въ кратчайшій срокъ. Послѣднее обстоятельство особенно важно для страны въ виду переживаемыхъ событій.

Однако, чтобы, кромѣ учебныхъ задачъ, лабораторія могла выполнять еще и задачи испытательной станціи и научнаго кабинета, необходимо совершенно измѣнить ея организацію.

Главнѣйшія основанія для такой организаціи могутъ быть сведены къ слѣдующимъ положеніямъ.

Цѣль лабораторіи: 1) служить правительственной станціей для испытанія матеріаловъ и для провѣрки испытательныхъ машинъ въ частныхъ заводскихъ лабораторіяхъ, 2) быть кабинетомъ для разработки научно-техническихъ вопросовъ по испытанію матеріаловъ, частей сооруженій и даже цѣлыхъ сооруженій и 3) служить учебной лабораторіей для занятій студентовъ, для демонстрацій при лекціяхъ и проч.

Наилучшее выполненіе первой задачи окажется возможнымъ въ томъ случаѣ, если станція испытанія будетъ прежде всего независима отъ промышленности и существованіе ея будетъ обезпечено правительствомъ. Въ этомъ случаѣ личный составъ станціи въ своей работѣ будетъ видѣть исполненіе задачъ государственныхъ, а не службу частнымъ лицамъ. Это скажется не только на основательности производимыхъ испытаній, но и на

отношенiи къ станцiи со стороны промышленности. Однако, въ полной матерiальной независимости станцiи отъ промышленности кроются и недостатки, которые необходимо отмѣтить.

Выгодами отъ работы станцiи пользуется не только правительство, но и промышленность, и потому нѣкоторую долю участiя въ содержанiи станцiи необходимо возложить на промышленность. Кромѣ того, обыкновенно, служащiе на правительственной службѣ свыкаются со своимъ положенiемъ, и продуктивность ихъ труда постепенно падаетъ, такъ какъ нѣтъ достаточно вѣскаго побудителя къ оживленiю ихъ дѣятельности. Это явленiе наблюдается и въ лабораторiяхъ по испытанiю матерiаловъ и не уничтожается повышенiемъ окладовъ. Есть основанiе полагать, что извѣстная премiя за производительность труда весьма благопрiятно отражается на отношенiи служащихъ къ своимъ обязанностямъ.

Если назначить плату за производство испытанiй, то этимъ, съ одной стороны, привлекается промышленность къ содержанiю станцiи, а съ другой стороны, служащiе могутъ получать извѣстный % отъ доходовъ станцiи. Такимъ образомъ, оба требованiя будутъ удовлетворены.

Но плата за испытанiе не должна быть слишкомъ высокой: во-первыхъ, низкой платой достигается популяризацiя идеи испытанiя матерiаловъ даже среди мелкихъ предпрiятiй и коммерсантовъ, во-вторыхъ, число одинаковыхъ испытанiй, а, слѣдовательно, основательность выводовъ повышается, въ третьихъ, личный составъ и оборудованiе станцiи используются полнѣе. Въ то же время плата не должна быть убыточною для станцiи и должна покрывать всѣ расходы на подготовительныя работы и премiю служащихъ. Проф. Мартенсъ, директоръ центральной германской станцiи возлѣ Берлина (въ Gross-Lichterfeld'ѣ), совѣтуетъ устанавливать таксу испытанiй „въ особомъ собранiи спецiалистовъ, которое одновременно могло бы быть и высшимъ руководящимъ испытательнымъ учрежденiемъ и которое должно быть такъ организовано, чтобы никогда не могли играть рѣшающую роль какiе-либо частные интересы“. Перiодическiе съѣзды общества спецiалистовъ по испытанiю матерiаловъ могутъ считаться вполнѣ компетентными для рѣшенiя этого вопроса. Во всякомъ случаѣ, не слѣдуетъ смотрѣть на плату за испытанiе, какъ на единственный матерiальный источникъ существованiя станцiй, такъ какъ станцiя прежде всего должна быть правительственной.

Основное оборудованiе станцiи должно быть правительственное, но если какому-нибудь учрежденiю понадобятся спецiальныя испытанiя, то возможно прiобрѣтенiе оборудованiя за его счетъ и при условiи пожертвованiи этого оборудованiя въ распоряженiе станцiи.

Вторая задача лабораторiи, научная, несомнѣнно можетъ быть разрѣшена наилучшимъ образомъ въ томъ случаѣ, если лабораторiя находится при учебномъ заведенiи. Оффицiальныя научныя лабораторiи и ка-

бинеты, если они оторваны отъ учебнаго заведенія, имѣютъ больше шансовъ на бездѣйствіе, нежели лабораторіи при учебныхъ заведеніяхъ. Во-первыхъ потому, что при учебныхъ заведеніяхъ происходитъ постоянное движеніе молодыхъ научныхъ силъ, и даже при пассивномъ завѣдующемъ возможно развитіе лабораторіи и разработка научно-техническихъ вопросовъ. Во-вторыхъ потому, что лабораторія находится въ постоянномъ общеніи съ научными силами учебнаго заведенія, библіотекой и проч., и конкурсъ на должности при лабораторіи можетъ быть при этомъ обставленъ болѣе широкимъ кругомъ конкурентовъ; легче создаются также условія для возникновенія научной школы и подготовки будущихъ работниковъ изъ сотрудниковъ профессора. Наконецъ, соревнованіе, естественное въ такихъ случаяхъ, представляетъ еще одинъ побудитель къ живой дѣятельности лабораторіи.

Съ другой стороны, сама каѳедра въ станціи испытанія матеріаловъ и въ правительственной научной лабораторіи имѣетъ богатѣйшій матеріалъ для научной разработки и для учебнаго дѣла. Каѳедра находится при этомъ въ постоянномъ общеніи съ промышленностью и, получая отъ нея задачи для разработки, въ свою очередь можетъ оказывать благотворное вліяніе на промышленность, внося научный элементъ въ развитіе техники. Такое общеніе обыкновенно бываетъ недоступно нашимъ учебнымъ заведеніямъ, главнымъ образомъ, вслѣдствіе недостатка средствъ, отпускаемыхъ правительствомъ на учебныя и научныя нужды заведенія.

Конечно, научная дѣятельность лабораторіи обусловливается не ея организаціею и матеріальными средствами, которыя находятся въ распоряженіи лабораторіи. Эта дѣятельность зависитъ отъ лицъ. Но косвенно организація оказываетъ на нее вліяніе. Хорошее оборудованіе и богатыя вспомогательныя средства лабораторіи привлекаютъ работниковъ науки, наоборотъ,—отсутствіе подходящихъ условій работы отталкиваетъ работниковъ. Наши учебныя заведенія представляютъ поучительный примѣръ въ этомъ отношеніи, такъ какъ изъ-за недостатка средствъ для постановки научныхъ опытовъ нашимъ ученымъ приходится отправляться за границу или добиваться благосклонности заводчиковъ, или, наконецъ, на производство научныхъ опытовъ прибѣгать къ неоффиціальному расходованію тѣхъ средствъ, которыя предназначаются на другой предметъ.

Правительственная научная лабораторія должна имѣть такія средства и можетъ ихъ имѣть изъ доходовъ за испытаніе матеріаловъ.

Третья задача лабораторіи менѣе всего нуждается въ поясненіяхъ, такъ какъ въ большомъ учрежденіи можетъ быть выполнена любая программа студенческихъ занятій, необходимо только прибавить, что, работая на станціи испытанія матеріаловъ, студенты будутъ получать не только академическую, но и практическую подготовку.

При выполненіи намѣченныхъ задачъ необходимо имѣть въ виду, что дѣятельность лабораторіи должна быть обезпечена во всѣхъ трехъ указанныхъ направленіяхъ, какъ оборудованіемъ, такъ и личнымъ составомъ и средствами.

Для станціи испытанія нужны главнымъ образомъ спеціальныя простыя машины, лаборантъ, механикъ, служители и дѣлопроизводитель. Для болѣе точныхъ и, сравнительно, рѣдкихъ задачъ станція пользуется оборудованіемъ научной части лабораторіи, въ которой должны быть точные приборы и машины, а также солидный научный персоналъ. Въ зависимости отъ развитія дѣятельности лабораторіи здѣсь должны быть одинъ, два или три спеціалиста во главѣ съ профессоромъ. На первое время могутъ быть назначены слѣдующіе спеціальности: металлы, камни и прочіе матеріалы. Учебныя задачи обслуживаются обоими отдѣлами лабораторіи, при чемъ преподаваніе можетъ быть поручено факультетами института, черезъ профессора, соотвѣтствующимъ спеціалистамъ лабораторіи.

Такимъ образомъ, штатъ лабораторіи состоитъ изъ завѣдывающаго, старшихъ лаборантовъ (отъ 1 до 3), младшихъ лаборантовъ (отъ 1 до 6), дѣлопроизводителя, механика, служителей и рабочихъ. Оплата труда этихъ лицъ, какъ служащихъ въ лабораторіи, производится изъ средствъ лабораторіи, при чемъ всѣ, кромѣ завѣдующаго, получаютъ сверхъ жалованья еще премію изъ доходовъ лабораторіи.

Средства лабораторіи составляются: а) изъ штатныхъ ассигнованій Министерства Торговли и Промышленности на лабораторію, б) изъ ассигнованія факультетовъ института на лабораторію, в) изъ ассигнованій городовъ, земствъ и другихъ учрежденій даннаго района. За учебныя занятія со студентами преподаватели получаютъ особое вознагражденіе на общихъ основаніяхъ съ другими преподавателями института.

При такихъ условіяхъ основные оклады могутъ быть:

завѣдующій	2000 р.	3000 р.
старшій лаборантъ	1500 „	2000 „
младшій лаборантъ	1000 „	1500 „
дѣлопроизводитель	600 „	1200 „
механикъ	900 „	1200 „
служитель, рабочій	300 „	600 „

На хозяйственныя нужды лабораторіи и дооборудованіе ассигнуется Министерствомъ ежегодно . . . . 2500 р.

На научныя работы . . . . 2500 „

Мастерская при лабораторіи. Для успѣшной дѣятельности лабораторіи безусловно необходимо устройство своей физико-механической мастерской. Мастерская должна изготовлять образцы для испытанія, производить ремонтъ, градуировку и провѣрку приборовъ и машинъ лабораторіи, а

также изготовлять новые приборы. Въ свободное время мастерская можетъ выполнять заказы другихъ лабораторій института и, такимъ образомъ, исправить тотъ пробѣлъ, который наблюдается въ организаціи многихъ высшихъ учебныхъ заведеній: отсутствіе своихъ мастерскихъ и зависимость лабораторій отъ заграничныхъ механиковъ.

Устройство такой мастерской вызывается необходимостью въ спеціальныхъ и часто спѣшныхъ работахъ, которыхъ нельзя поручить посторонней мастерской. Конструированіе новыхъ машинъ, а также градуировка и провѣрка машинъ возможны только при наличности своей мастерской. Этимъ объясняется, почему при всѣхъ новыхъ большихъ лабораторіяхъ, даже въ столицахъ, устроены сильныя мастерскія, несмотря на наличность въ столицахъ хорошихъ частныхъ мастерскихъ.

Въ мастерской при лабораторіи недостаточно имѣть обычные токарные и строгальные станки,—необходимы спеціальныя машины, станки для тонкихъ работъ, контрольный столъ для манометровъ и проч.

Штатъ мастерской долженъ состоять изъ

мастера съ окладомъ	. . . .	900 — 1200 р.
слесаря „	. . . .	600 — 900 „
рабочихъ „	. . . .	400 — 600 „

Работа этого штата должна быть оплачена цѣликомъ доходами мастерской, получающей отъ правительства только первоначальное оборудованіе, помѣщеніе, энергію, освѣщеніе и отопленіе.

Въ цѣляхъ содѣйствія отечественному машиностроенію слѣдовало бы мастерскую при станціи испытанія матеріаловъ использовать для производства спеціальныхъ испытательныхъ машинъ и измѣрительныхъ приборовъ для надобностей частныхъ лабораторій и заводовъ. Такое использованіе особенно удобно, если станція находится при учебномъ заведеніи, имѣющемъ свои механическія мастерскія. Мастерскія могутъ готовить отливку и крупныя части, а станція — арматуру, точныя мелкія части, а также производить градуировку машинъ. При такихъ условіяхъ будетъ возможно нѣсколько ослабить ту, несомнѣнно полную, зависимость отъ заграничной промышленности, въ которой мы теперь находимся въ отношеніи машинъ для испытанія матеріаловъ.

Отношеніе лабораторіи къ администраціи учебнаго заведенія. Лабораторія предназначена обслуживать нужды промышленности, науки и учебныя задачи по нѣсколькимъ факультетамъ. Поэтому лабораторія выходитъ изъ вѣдѣнія одного факультета и переходитъ въ вѣдѣніе Министерства Торговли и Промышленности. Но, въ виду нахожденія лабораторіи на территоріи учебнаго заведенія и исполненія лабораторіею учебныхъ задачъ, она подчиняется директору учебнаго заведенія черезъ своего завѣдующаго, какъ профессора. Ассигнованія факультетовъ служатъ предметомъ годич-

наго отчета завѣдующаго лабораторiей въ собранiяхъ соотвѣтствующихъ факультетовъ. Все дѣлопроизводство и хозяйственная отчетность ведется лабораторiею независимо отъ общаго дѣлопроизводства учебнаго заведенiя. Это не исключаетъ возможности назначенiя контролирующаго органа въ лицѣ директора или правленiя учебнаго заведенiя.

При такой организацiи достигается авторитетность и независимость лабораторiи по существу ея дѣятельности, обезпеченiе научными силами и техническимъ персоналомъ.

Печатанiе „Извѣстiй" и „Отчетовъ" о дѣятельности лабораторiи представляетъ обязательную задачу лабораторiи, какъ научнаго учрежденiя и испытательной станцiи. Въ „Извѣстiяхъ" могутъ помѣщаться и теоретическiя статьи работающихъ въ лабораторiи и постороннихъ лицъ, если статьи относятся къ предмету дѣятельности лабораторiи.

Редактированiе „Извѣстiй" принадлежитъ завѣдующему лабораторiей. На печатанiе „Извѣстiй" ассигнуются штатныя средства,—1000 рублей въ годъ, а въ случаѣ надобности и дополнительныя суммы

II. О развитiи Механической лабораторiи Кiевскаго Политехническаго Института въ духѣ вышеизложенныхъ общихъ соображенiй.

Общiя соображенiя, изложенныя выше, указываютъ на слѣдующiя выгоды использованiя лабораторiй высшихъ учебныхъ заведенiй въ цѣляхъ порученiя имъ задачъ испытательныхъ станцiй:

авторитетность учрежденiя и независимость его отъ заказчиковъ, поручающихъ испытанiя матерiаловъ,

быстрота возникновенiя станцiй испытанiя матерiаловъ,

экономiя въ средствахъ, необходимыхъ на устройство станцiй,

появленiе физико-механическихъ мастерскихъ,

улучшенiе условiй преподаванiя строительной механики и матерiаловѣдѣнiя въ высшихъ учебныхъ заведенiяхъ.

Поэтому можно полагать, что при учрежденiи сѣти станцiй для испытанiя матерiаловъ правительство прежде всего используетъ высшiя учебныя заведенiя. Несомнѣнно, однимъ изъ первыхъ будетъ намѣченъ Кiевскiй Политехническiй Институтъ и его Механическая лабораторiя.

При планомѣрной организацiи сѣти станцiй для испытанiя матерiаловъ все пространство Россiи должно быть разбито на районы примѣнительно къ высшимъ техническимъ учебнымъ заведенiямъ съ Механическими лабораторiями. Такими районами могутъ быть: Петроградскiй, Московскiй, Томскiй, Кiевскiй, Харьковскiй и Донской. Итакъ, однимъ изъ районовъ неизбѣжно долженъ быть Кiевскiй.

Къ Кiевскому району будетъ тяготѣть не только весь юго-западный край, но и часть бѣлорусскихъ и польскихъ губернiй, а также Бессарабiя.

Уже и теперь, при слабо развитой фабрично-заводской промышленности края, дѣятельность Кіевской Механической лабораторіи становится весьма интенсивной. Объ этомъ говорятъ слѣдующія цифры[1]):

За годъ	1909	1910	1912	1914	1915	1916.
Число порученій, исполненныхъ лабораторіею[2])	24	23	40	45	70	170
Число испытаній[3])	65	86	120	310	950[4])	2000.

Съ развитіемъ промышленности, къ которому побуждаетъ насъ переживаемый кризисъ, надобность въ лабораторіи еще увеличится. Къ сожалѣнію, трудно собрать точныя данныя о дѣятельности, въ отношеніи испытанія матеріаловъ, другихъ русскихъ лабораторій. Но на основаніи общихъ свѣдѣній, полученныхъ мною при личномъ посѣщеніи лабораторій, можно полагать, что въ этомъ отношеніи Кіевская лабораторія становится впереди нѣкоторыхъ другихъ. Поэтому вполнѣ естественно превратить эту лабораторію въ испытательную и контрольную районную станцію.

Къ этому придется прибѣгнуть, вѣроятно, въ самомъ ближайшемъ будущемъ. Мы проектируемъ слѣдующее расширеніе существующей лабораторіи, руководствуясь тѣми общими соображеніями, которыя были изложены въ I отдѣлѣ.

Помѣщеніе. Для нормальнаго развитія дѣятельности Механической лабораторіи необходимо прибавить къ ея теперешнему помѣщенію I-го этажа такое же помѣщеніе во II-мъ этажѣ. Это помѣщеніе II-го этажа предназначалось для Механической лабораторіи по первоначальному плану и теперь, черезъ 15 лѣтъ послѣ открытія лабораторіи, оно ей становится безусловно необходимымъ.

Машины въ лабораторіи такъ сближены, что затруднена установка зеркальныхъ приборовъ и негдѣ ставить столы для студенческихъ занятій, нѣтъ комнаты для лаборанта, нѣтъ аудиторіи, пріемной для посѣтителей и проч. Если лабораторіи предоставить II-ой этажъ, то будетъ возможно осуществленіе слѣдующаго плана распредѣленія помѣщеній (см. стр. 11).

Въ случаѣ предоставленія новаго помѣщенія необходимо дать не менѣе 175 кв. саж. чистой площади для всѣхъ помѣщеній лабораторіи: главныхъ и служебныхъ.

---

[1]) Сюда не входятъ данныя объ искусственныхъ каменныхъ строительныхъ матеріалахъ, такъ какъ они въ Кіевскомъ Политехническомъ Институтѣ относятся къ лабораторіи „Технологіи строительныхъ матеріаловъ".

[2]) Подъ порученіемъ подразумѣвается общій заказъ, принятый лабораторіею.

[3]) Число образцовъ, испытанныхъ лабораторіею, со всѣми данными, относящимися къ образцу, какъ одному испытанію.

[4]) Большое число испытаній по сравненію съ числомъ порученій объясняется тѣмъ, что въ 1915 и 1916 г. испытывалось много проволоки на разрывъ и изгибъ въ связи съ испытаніемъ проволочныхъ канатовъ для подъемныхъ машинъ. Число испытаній проволоки составляетъ, примѣрно, 50% общаго числа всѣхъ испытаній за этотъ періодъ.

Оборудованіе. Необходимо усиленіе оборудованія лабораторіи, какъ машинами общаго значенія, такъ и спеціальными.

А. Общее оборудованіе.

Общее оборудованіе необходимо усилить одной точной машиной для научныхъ работъ. Машина должна быть универсальная съ большимъ діаграмнымъ приборомъ типа Эмери или кн. Гагарина. Стоимость машины до . . . . 25000 р.

Необходимо пріобрѣтеніе контрольной машины типа Гоппе, работающей непосредственной нагрузкой. Эта машина предназначается, какъ для періодической повѣрки машинъ лабораторіи, такъ и для контроля машинъ частныхъ лабораторій. Стоимость машины около . . . . 5000 р.

Въ Механической лабораторіи Кіевскаго Политехническаго Института нѣтъ ни одной машины для изгиба большихъ балокъ; между тѣмъ испытаніе желѣзо-бетона, большихъ деревянныхъ и желѣзныхъ балокъ, а тѣмъ болѣе научныя работы требуютъ такой машины. Стоимость машины до . . . . 5000 р.

Для испытанія колоннъ и столбовъ необходимо пріобрѣсти машину на продольный изгибъ силой до 500 тоннъ. Стоимость машины до . . . . 6000 „

Машина для испытанія металловъ ударомъ типа Guillery . 1000 „

Одновременно съ машиннымъ отдѣломъ необходимо усилить оборудованіе лабораторіи измѣрительными приборами, какъ-то: зеркальными приборами, интерференціонными приборами, эластиметрами, динамометрами, вѣсами, микроскопами и проч. Всего на сумму до . . . . 5000 „

Итого . . 47000 р.

Б. Спеціальное оборудованіе.

Если въ распоряженіе Механической лабораторіи будутъ переданы машины лабораторіи, бывшей проф. Г. Д. Дубелира, а именно:

машина для распиливанія камней.

кругъ для истиранія камней.

барабанъ Деваля для испытанія щебенки,

то на очереди станетъ пріобрѣтеніе слѣдующихъ машинъ:

машина для раздавливанія камней силой до 300 тоннъ стоимостью . . . . 5000 р

машина для раздавливанія трубъ стоимостью до . . . . 2000 „

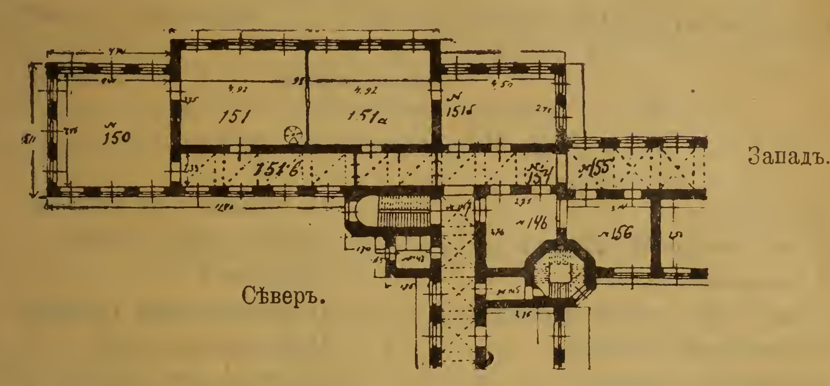
машина для испытанія трубъ внутреннимъ давленіемъ стоимостью . . . . 1000 „

ПЛАНЪ
юго-восточнаго крыла главнаго зданія Кіевскаго Политехническаго Института.

2-й ЭТАЖЪ.

Югъ.

Востокъ. Западъ.

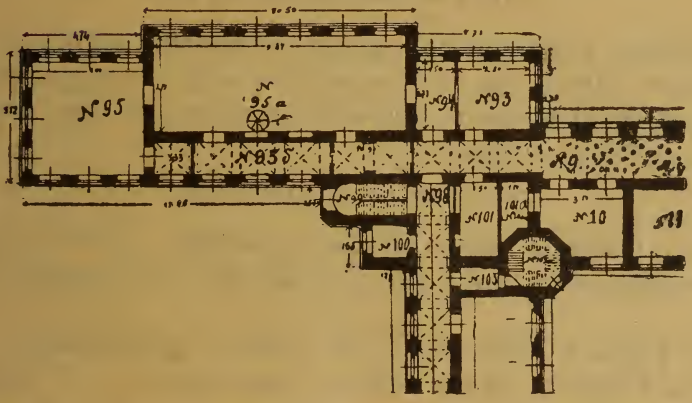


Сѣверъ.

Проектируется.

№ 150. Лабораторія камней . . . . 19,36 кв. саж.
151. Лабораторія прочихъ матеріаловъ . . . 18,45 „
151а. Аудиторія и музей . . . . 18,45 „
151б. Оптическая лабораторія . . . . 12,38 „
151в. Мастерская для обработки камней и проч. матеріаловъ, столярная мастерская . . . 9 „

1-й ЭТАЖЪ.



Помѣщенія, занятыя теперь лабораторіею.

№ 95. Малый машинный залъ . . . . 19,36 кв. саж.
95а. Большой машинный залъ . . . . 36,9 „
94. Кабинетъ лаборанта и канцелярія . . . . 4,12 „
93. Кабинетъ завѣдующаго лабораторіей . . 7.70 „
95. Механическая мастерская (слѣва за перегородкой—инструментальная) . . . . . . 9 „
№ 99 и 98. Входъ въ лабораторію.

Машина Смита для испытанія усталости.
Тоже Гопкинсона.
3 машины Воропаева для усталости.
Машина для усталости провол. канатовъ.
Кругъ Амслера для истиранія камней.
Барабанъ Деваля для щебня.
Машина для раздавливанія камней.
Машина для раздавливанія трубъ.
Машина для испытанія трубъ гидравлическимъ давленіемъ,
Приборы для испытанія грунтовъ проволоки, тканей, ремней.

Мастерская.

А. Механическая мастерская.

Самоточка.
Малый токарный станокъ.
Строгальный станокъ.
Малый строгальный станокъ.
Сверлильный станокъ.
Фрезерный станокъ.
Полировальный станокъ
Дѣлительная машина.
Шеппингъ.
Шлифовальный станокъ.
Пила для металла.
Станокъ для тонкихъ работъ.
Наборъ кузнечныхъ приборовъ для кузницы при мастерской.

Б. Столярная мастерская.

Верстакъ для столярныхъ работъ.
Токарный станокъ для дерева.
Циркулярная пила для дерева.
Столярные инструменты.

б) Каменные матеріалы.

Статическое раздавливаніе, разрывъ, срѣзываніе, изгибъ, твердость.

Прочность камней при дѣйствіи мороза, воды и другихъ факторовъ.

Ударныя испытанія на раздробленіе, выносливость при перемѣнныхъ нагрузкахъ, пробивку и проч.

в) Прочіе матеріалы.

Дерево. Разрывъ, раздавливаніе, срѣзываніе, изгибъ, продольный изгибъ, изнашиваемость, прочность при дѣйствіи атмосферныхъ и другихъ вліяній.

Ремни. Разрывъ, выносливость при изгибѣ, изнашиваемость.

Канаты. Разрывъ, изгибъ, крученіе, выносливость при перемѣнныхъ нагрузкахъ, изнашиваемость во время службы.

Ткани. Разрывъ, изнашиваемость, выносливость при изгибѣ и при перемѣнныхъ нагрузкахъ. Водопроницаемость.

Б. Испытаніе частей сооруженій и машинъ.

Испытаніе трубъ и ихъ соединеній, испытаніе валовъ, колоннъ, кле-

машина для испытанія изнашиваемости строительныхъ матеріаловъ при помощи песчаной струи. Стоимость машины до . 1000 р.

машины для испытанія грунтовъ на сумму до . . . . . . 1000 „

специальныя машины для испытанія проволоки, тканей, ремней, канатовъ, черепицы и проч., всего на сумму до . . . . 5000 „

машина для испытанія усталости проволочныхъ канатовъ . 2000 „

машина Гопкинсона для испытанія усталости металловъ . 2000 „

машина для испытанія валовъ . . . . 3000 „

холодильная машина для замораживанія камней и другихъ строительныхъ матеріаловъ . . . . 3000 „

Итого . . 25000 р.

В. Оптическій и металлографическій кабинетъ.

Для научныхъ работъ, для демонстрацій при лекціяхъ и для экспертизъ во многихъ случаяхъ разрушенія и поломки слѣдуетъ прибѣгать къ оптическимъ методамъ. Изслѣдованіе металловъ во многихъ случаяхъ невозможно безъ параллельныхъ металлографическихъ изслѣдованій. Поэтому для успѣшной работы станціи испытанія матеріаловъ необходимо оборудовать хотя бы небольшой оптическій и металлографическій кабинетъ. Примѣрную стоимость такого оборудованія можно опредѣлить въ . . . 2000 р.

Итого . . 2000 р.

Г. Мастерская.

Въ небольшой мастерской при Механической лабораторіи уже имѣется нѣсколько станковъ и наборъ главнѣйшихъ инструментовъ для работъ по металлу, а именно: самоточка, строгальный и сверлильный станокъ. Поэтому для окончательнаго дообуродованія требуются сравнительно небольшія средства. Необходимо пріобрѣсти малый токарный станокъ, шеппингъ, пилу для металла, дѣлительную машину, фрезерный и шлифовальный станокъ.

Столярную мастерскую и мастерскую для прочихъ работъ придется оборудовать заново. Общая стоимость всего необходимаго оборудованія вмѣстѣ съ двигателями и приспособленіемъ помѣщеній можетъ составить . . . . 15000 р.

Итого . . 15000 р.

Всего на оборудованіе требуется . . . . . 98000 рублей

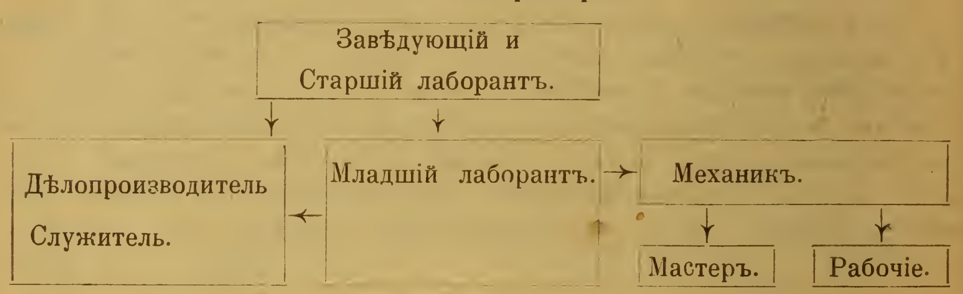
Прибавляя сюда . . . . 2000 „

на мебель, на приспособленія для производства спеціальныхъ испытаній, на музей и непредвидѣнные расходы, получимъ общую сумму . 100.000 рублей.

Штатъ лабораторіи. Для обслуживанія лабораторіи въ ближайшее время къ наличному штату изъ завѣдующаго, лаборанта, слесаря и служителя необходимо добавить: второго лаборанта съ окладомъ . . 1000 р.
дѣлопроизводителя „ . . 600 „
механика „ . . 900 „
т. е. усилить штатъ лабораторіи въ годъ на . . . . 2500 р., не считая вознагражденія завѣдующаго лабораторіей.

Послѣ осуществленія всѣхъ этихъ предположеній состояніе Механической лабораторіи Кіевскаго Политехническаго Института можетъ представиться въ слѣдующемъ видѣ.

Штатъ лабораторіи.



Важнѣйшіе приборы и машины.

А. Машины общаго назначенія.

Машина Риле на 100 тоннъ.
Прессъ кн. Гагарина на 5 тоннъ.
Точная машина силою до 50 тоннъ.
Машина Амслера для разрыва, сжатія и изгиба силою до 50 тоннъ.
Тоже „ силою до 5 тоннъ.
Машина Амслера для раздробленія и изгиба силою до 65 тоннъ.
Дюссельдорфская разрывная машина на 15 тоннъ.
Контрольная машина типа Гоппе.
Машина для изгиба балокъ и фермъ.
Машина для продольнаго изгиба.
Машина для крученія (Амслера).
Коперъ Амслера.
Коперъ Шарпи.
Коперъ Guillery.

Б. Специальныя машины.

Машина „Альфа“ для опредѣленія твердости.
Машина для скручиванія валовъ.
Машина Амслера для гнутья.
Контрольный приборъ для манометровъ.
Приборъ Гари для испытанія песчаной струей.

панныхъ и желѣзо-бетонныхъ балокъ, составныхъ деревянныхъ балокъ, желѣзныхъ и деревянныхъ фермъ, потолочныхъ перекрытій, стѣнъ, грунтовъ, частей аэроплановъ и проч.

В. Провѣрка машинъ.

Провѣрка и градуировка машинъ для испытанія матеріаловъ, провѣрка манометровъ и другихъ измѣрительныхъ приборовъ.

В. Мастерская для камней и прочихъ матеріаловъ.

Пила Амслера для камней. Шлифовальный кругъ для камней.
Формы для бетоновъ и проч.

Задачи, принимаемыя лабораторіею.

А. Испытаніе матеріаловъ.

а) Металлы.

Статическое испытаніе на разрывъ, раздавливаніе, срѣзываніе, изгибъ, крученіе, продавливаніе, прессованіе, твердость, опредѣленіе работы деформаціи во всѣхъ случаяхъ.

Испытаніе выносливости при перемѣнныхъ нагрузкахъ для матеріаловъ и проволочныхъ канатовъ, испытаніе изнашиваемости матеріаловъ.

Ударчыя испытанія на разрывъ, изгибъ, раздробленіе, срѣзываніе, пробивку.

Г. Изготовленіе машинъ.

Изготовленіе въ своей мастерской спеціальныхъ приборовъ по испытанію матеріаловъ. Ремонтъ приборовъ и машинъ. Установка и монтировка машинъ для испытанія матеріаловъ.

Д. Организація новыхъ лабораторій.

Организація новыхъ лабораторій, какъ учебнаго характера, такъ и заводскихъ лабораторій.

III. Организація перехода Механической лабораторіи К. П. И. въ испытательную станцію и научную лабораторію М. Т. и П.

Механическая лабораторія Кіевскаго Политехническаго Института, находясь при учебномъ заведеніи, не требуетъ для своего преобразованія въ испытательную станцію единовременной затраты большихъ средствъ на оборудованіе и личный составъ. Вполнѣ возможно необходимую на обо-

рудованіе сумму 100000 р. реализовать въ 4-хъ или 5-ти лѣтній срокъ путемъ ежегодныхъ равномѣрныхъ ассигнованій по 20—25 тысячъ при условіи предоставленія Институтомъ необходимаго помѣщенія. При отсутствіи же помѣщенія прежде всего необходимо ассигнованіе на особое зданіе для станціи испытанія матеріаловъ. Стоимость зданія отъ 35000 до 40000 р. въ зависимости отъ времени постройки и расположенія зданія.

Штатъ лабораторіи въ переходной періодъ можетъ не требовать расходовъ отъ правительства, такъ какъ расходы легко покрываются слѣдующимъ образомъ. Инженерное Отдѣленіе, заинтересованное въ устройствѣ инженерной испытательной станціи, можетъ предоставить ей своего лаборанта, механикъ можетъ быть оплаченъ доходами за издѣлія мастерской, гдѣ онъ будетъ работать; дѣлопроизводитель оплачивается изъ доходовъ, получаемыхъ лабораторіею за испытаніе матеріаловъ; отсюда же вполнѣ возможно назначить нѣкоторое, временно частичное, вознагражденіе и другимъ работникамъ.

По окончаніи организаціоннаго періода штатъ получитъ нормальные оклады согласно изложенному въ I отдѣлѣ записки.

Печатаніе „Извѣстій" станціи испытанія матеріаловъ возможно допустить въ „Извѣстіяхъ Кіевскаго Политехническаго Института".

Октябрь 1916 года.

Рѣжущій аппаратъ современныхъ жатвенныхъ машинъ и его теорія.

Л. П. Крамаренко.

Жатвенныя машины и ихъ классификація.

Жатвенныя машины, о рѣжущемъ аппаратѣ которыхъ будетъ итти рѣчь, принадлежатъ къ числу уборочныхъ сельско-хозяйственныхъ машинъ, предназначенныхъ для уборки травяныхъ и хлѣбныхъ злаковъ.

Въ первомъ случаѣ, при уборкѣ травяныхъ злаковъ, дѣло ограничивается только подрѣзаніемъ стебля и никакихъ дальнѣйшихъ операцій со срѣзаннымъ продуктомъ отъ машины производить не требуется. Такого рода машины, предназначенныя спеціально для уборки травъ, носятъ названіе косилокъ. Во второмъ случаѣ, къ машинѣ, кромѣ непосредственнаго срѣзыванія стебля, предъявляется еще и рядъ другихъ требованій и, въ зависимости отъ предъявляемыхъ требованій, машины для уборки хлѣбныхъ злаковъ, нося общее названіе жней, раздѣляются: на жнеи-лобогрѣйки, которыя только подрѣзаютъ стебли и складываютъ ихъ на платформу машины, всѣ же остальныя операціи производятся непосредственно человѣкомъ; на жнеи-самосбрасывающія, въ которыхъ къ вышеуказанной операціи добавляется еще сбрасываніе съ платформы подрѣзанныхъ стеблей опредѣленными порціями; и, наконецъ, на жнеи-сноповязалки, которыя заканчиваютъ процессъ уборки хлѣба и связываютъ сжатый хлѣбъ въ снопы. Въ послѣднемъ случаѣ различаютъ жнеи-сноповязалки съ нормальной (5—7 фут.) шириной захвата и боковой запряжкой лошадей и жнеи-сноповязалки съ увеличенной (10—14 фут.) шириной захвата и задней запряжкой лошадей, при чемъ послѣднія носятъ уже особое названіе—пушбайндеровъ.

Во всѣхъ перечисленныхъ машинахъ, какъ косилкахъ, такъ и различнаго рода жнеяхъ, основнымъ и первоначальнымъ процессомъ въ работѣ машины является процессъ подрѣзанія стеблей убираемаго продукта и, въ соотвѣтствіи съ этой тождественностью основной операціи, рѣжущій аппаратъ какъ косилокъ, такъ и разнаго рода жней построенъ по одному и тому же принципу, совершенно тождественъ по устройству, и различается только числомъ колебаній ножа въ единицу времени (скоростью

движенія ножа) и отчасти величиной его размаха. Въ силу этого, говоря въ дальнѣйшемъ о рѣжущемъ аппаратѣ жатвенныхъ машинъ, мы будемъ о немъ говорить безотносительно, къ какой категоріи этихъ машинъ онъ относится.

Здѣсь слѣдуетъ еще упомянуть, что, кромѣ перечисленныхъ выше машинъ для уборки хлѣбныхъ злаковъ, существуютъ еще особыя жатвенныя машины, которыя примѣняются въ томъ случаѣ, когда соломой или вовсе не дорожатъ, или разсчитываютъ убрать ее впослѣдствіи.

Основнымъ процессомъ въ этихъ машинахъ является процессъ не подрѣзанія самого стебля, а удаленіе колоса со стебля, при чемъ выполняется этотъ процессъ двоякимъ способомъ. Въ одномъ случаѣ стебель просто подрѣзается не у основанія, а на высотѣ колоса, и тогда рѣжущій аппаратъ этихъ машинъ ничѣмъ не отличается отъ рѣжущаго аппарата обыкновенныхъ жатвенныхъ машинъ. Машины такого рода носятъ названіе хедеровъ, строятся уширеннаго захвата и съ задней запряжкой лошадей. Иногда онѣ снабжаются еще приспособленіемъ для обмолота срѣзаннаго колоса и тогда носятъ названіе жней-молотилокъ.

Впрочемъ, такимъ приспособленіемъ, взамѣнъ вязальнаго прибора, могутъ быть снабжены и обыкновенныя жатвенныя машины съ уширеннымъ захватамъ, такъ что подъ жнеей-молотилкой можно разумѣть уборочную машину, дающую убираемый продуктъ въ мѣшкахъ и подрѣзающую стебель на различной высотѣ, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій.

Въ другомъ случаѣ колосъ счесывается со стеблей при помощи особаго, гребенчатой формы аппарата, помѣщаемаго въ передней части машины въ соединеніи съ вращающимся барабаномъ. Гребень аппарата, перемѣщаясь вмѣстѣ съ машиной на уровнѣ колосьевъ, захватываетъ колосья между своими зубьями, а вращающійся барабанъ въ этотъ моментъ ихъ сбиваетъ. Такого рода уборочныя машины носятъ названіе стрипперовъ и употребляются главнымъ образомъ въ Австраліи и Аргентинѣ. Рѣжущій аппаратъ стрипперовъ, какъ видно изъ описанія, не только отличается по конструкціи, но разнится и принципомъ работы: здѣсь абсолютно нѣтъ мѣста срѣзанію, а есть только отрываніе, или вѣрнѣе, сбиваніе захваченныхъ гребнемъ колосьевъ. Поэтому въ настоящей работѣ мы ограничимся только разсмотрѣніемъ рѣжущаго аппарата обыкновенныхъ жатвенныхъ машинъ, основнымъ процессомъ работы которыхъ является подрѣзаніе стеблей, тѣмъ болѣе, что распространеніе стрипперовъ ограничено опредѣленными условіями, а примѣненіе ихъ въ Россіи представляетъ пока только единичныя явленія.

Историческій очеркъ развитія рѣжущаго аппарата.

Прежде чѣмъ перейти къ описанію современнаго рѣжущаго аппарата обыкновенныхъ жатвенныхъ машинъ и къ изложенію его теоріи, познако-

мимся предварительно съ тѣмъ, какъ постепенно вырабатывалась его конструкція.

Первыя и единственно достовѣрныя указанія на примѣненіе жатвенныхъ машинъ (вѣрнѣе, приспособленій) мы находимъ еще у римскимъ авторовъ Плинія Старшаго (отъ 23 до 79 г. по Р. Х.) и Палладія (въ 4-мъ вѣка по Р. Х.), которые описываютъ Галльскую жатвенную повозку. Повозка эта, покоящаяся на двухъ низкихъ колесахъ, толкалась сзади по полю быкомъ, а впереди была снабжена, на высотѣ колосьевъ, рядомъ изогнутыхъ зубьевъ; колосья ущемлялись между смежными зубьями, а рабочій, идущій рядомъ, особымъ весломъ сбивалъ ихъ въ ящикъ повозки. Какъ видимъ, рѣжущій аппаратъ первой жатвенной машины является прототипомъ рѣжущаго аппарата современнаго стриппера и ничего общаго съ рѣжущимъ аппаратомъ обыкновенныхъ жатвенныхъ машинъ не имѣетъ. Въ дальнѣйшемъ и въ теченіе всѣхъ среднихъ вѣсовъ никакихъ достовѣрныхъ указаній на примѣненіе какихъ-либо жатвенныхъ машинъ или приспособленій мы не встрѣчаемъ [1]).

И только впервые, въ концѣ XVIII столѣтія, въ Англіи, въ виду недостатка рабочихъ рукъ на полѣ, начинаютъ появляться попытки построенія жатвенной машины. Вначалѣ конструкторы пытались примѣнить рѣжущій аппаратъ по типу Галльскаго, затѣмъ слѣдуетъ рядъ попытокъ достигнуть цѣли простымъ перенесеніемъ пріемовъ ручной работы въ машинную обстановку и путемъ примѣненія различныхъ вращающихся аппаратовъ. Но всѣ эти попытки не имѣли успѣха, пока не возникла мысль сконструировать аппаратъ съ рѣзаніемъ по способу ножницъ. Первымъ въ ряду такихъ изобрѣтателей былъ Robert Meares, который 20 мая 1800 г. взялъ въ Англіи патентъ за № 2400. Въ 1807 г. этотъ рѣжущій аппаратъ былъ усовершенствованъ Salmon'омъ, а въ дальнѣйшемъ его развитіе связано съ изобрѣтеніемъ мотовила, сконструированнаго въ 1822 г. Henry Ogle'омъ. Въ 1826—1828 г. Patrick Bell, шотландскій священникъ, соединилъ всѣ изобрѣтенія того времени воедино и построилъ первую годную къ употребленію жатвенную машину, почему Patrick'a Bell'я и считаютъ отцомъ нашей современной жатвенной машины. Во всякомъ случаѣ, это была лучшая жатвенная машина, которую Европа самостоятельно сконструировала и которая въ 1835 г. какъ образецъ пошла въ Америку.

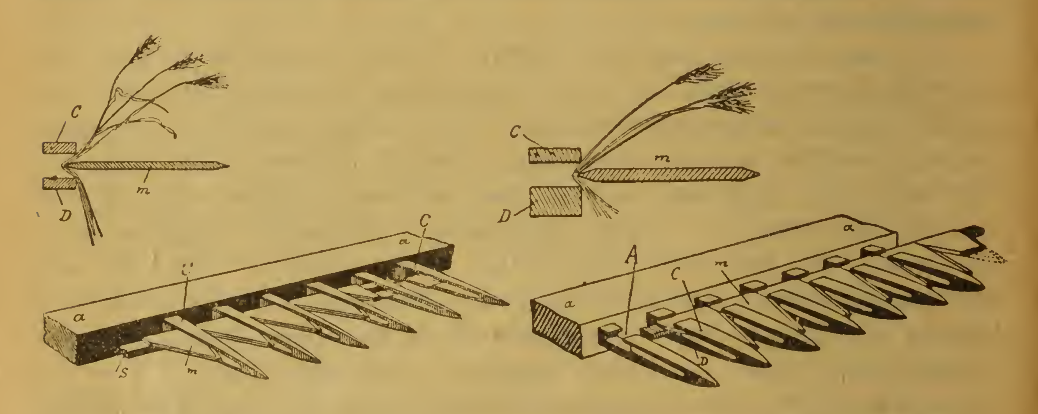
Но вначалѣ жатвенныя машины европейскихъ конструкторовъ пользовались въ Европѣ очень незначительнымъ распространеніемъ пока въ 1851 г. на Лондонской выставкѣ, не появились жатвенныя машины американской конструкціи съ боковой запряжкой лошадей. Въ Америкѣ попытки построить жатвенную машину возникли нѣсколько позже, чѣмъ въ Англіи, но и здѣсь

---

[1]) A. Nachtweh. Beiträge zur Kenntnis, Théorie und Beurteilung der Mähmaschinen.

развитіе жатвенной машины прошло черезъ тѣ же стадіи, что и въ Европѣ: и здѣсь первоначально пытались сконструировать жатвенную машину съ вращающимся рѣжущимъ аппаратомъ, первыя указанія о чемъ относятся къ 1803 г. Но только съ переходомъ къ рѣжущему по способу ножницъ аппарату развитіе жатвенныхъ машинъ стало на правильный путь и получило возможность дальнѣйшаго техническаго усовершенствованія.

Честь первыхъ изобрѣтателей рѣжущаго по способу ножницъ аппарата въ Америкѣ принадлежитъ Hussey'ю (1833 г.) и Mac Cormick'y (1834 г.), которые и оспаривали другъ у друга пальму первенства. Съ этими аппаратами мы познакомимся нѣсколько поближе, такъ какъ, съ одной стороны, они легли въ основу современнаго рѣжущаго аппарата, а съ другой, допущенныя въ нихъ ошибки очень поучительны. Во всякомъ случаѣ, если идея, рѣжущаго по способу ножницъ аппарата для жатвенныхъ машинъ зародилась впервые въ Англіи, то честь практическаго выполненія этой идеи и проведенія ея въ жизнь всецѣло принадлежитъ Америкѣ.



Фиг. 1. Рѣжущій аппаратъ Hussey'я въ 1833 г.

Фиг. 2. Рѣжущій аппаратъ Husseyя въ 1847 г.

Рѣжущій аппаратъ Hussey'я (фиг. 1) въ его первоначальномъ видѣ, какъ онъ описанъ въ патентѣ 1833 года, въ общихъ чертахъ состоитъ въ слѣдующемъ.

На планкѣ *a*, укрѣпленной горизонтально впереди машины, помѣщался рядъ пальцевъ *c*, укрѣпленныхъ на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга. Въ прорѣзахъ этихъ пальцевъ перемѣщался возвратно-поступательно ножъ, составленный изъ ряда треугольныхъ пластинокъ *m*.

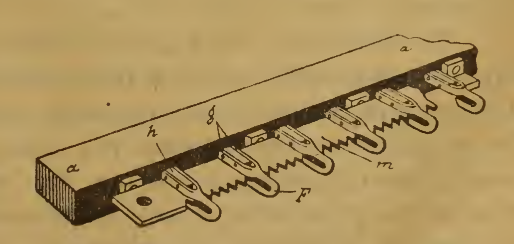
Въ описаніи, приложенномъ къ своему патенту, Hussey подчеркиваетъ, что лезвія этихъ пластинокъ заточены на обѣ стороны, какъ это показано на рисункѣ въ поперечномъ разрѣзѣ. Дѣлать это, по мнѣнію Hussey'я, нужно для того, чтобы пластинки, при проходѣ въ прорѣзѣ пальцевъ, вслѣдствіе своей незначительной толщины, не врѣзались въ тѣло пальцевъ при случайномъ своемъ изгибѣ. Но въ этомъ и заключалась главная ошибка Hussey'я, Дѣйствительно, въ поперечномъ разрѣзѣ пластинки *m* и пальца

C и *D* (фиг. 1) ясно видно, что мягкіе стебли, при недостаточно остромъ ножѣ, будутъ не перерѣзываться, а затаскиваться и заминаться въ прорѣзѣ пальцевъ, въ результатѣ чего машина застопорится. Здѣсь будетъ происходить то же явленіе, что и у ножницъ, если винтъ, соединяющій ихъ половины, отойдетъ и лезвія ножницъ при сближеніи будутъ не плотно прилегать другъ къ другу. И, какъ для успѣшной работы ножницъ необходимо не только, чтобы лезвія ихъ были достаточны остры, но чтобы они при взаимномъ перемѣщеніи проходили возможно близко другъ отъ друга, такъ и для рѣжущаго аппарата важна не только острота лезвій пластинокъ, но и возможно близкое прохожденіе ихъ относительно края прорѣза пальцевъ, служащаго противорѣжущей частью въ аппаратѣ и замѣняющаго второе лезвіе обыкновенныхъ ножницъ. Причиной этого явленія служитъ то, что въ то время, какъ усиліе рѣзанія, при расхожденіи лезвій при рѣзаніи по способу ножницъ совершенно не мѣняется, изгибающій моментъ, вслѣдствіе увеличенія плеча, увеличивается, и въ результатѣ получается не срѣзъ, а изгибъ стебля.

Второй недостатокъ въ первоначальномъ аппаратѣ Hussey'я заключался въ томъ, что прорѣзы пальцевъ были закрыты снизу и сверху, что, съ теченіемъ времени, вызывало набиваніе обрѣзковъ травы и соломы въ прорѣзѣ пальца, которые препятствовали работѣ ножа.

Указанныя ошибки были вскорѣ замѣчены Hussey'емъ и въ новомъ патентѣ 1847 года онъ уже описываетъ аппаратъ (фиг. 2), въ которомъ прорѣзы пальцевъ сверху открыты, а лезвія пластинокъ только на концахъ отточены на обѣ стороны, такъ какъ въ этихъ мѣстахъ скорѣе всего можно было опасаться изгиба пластинокъ; у основанія же пластинки сточены только сверху, такъ что лезвіе пластинокъ совпадало съ нижнею ихъ поверхностью и, при прохожденіи послѣднихъ въ прорѣзѣ пальца, могло какъ угодно близко проходить относительно нижняго края прорѣза пальца. Отъ этого, условія рѣзанія въ новомъ аппаратѣ Hussey'я значительно улучшились.

Аппаратъ Mac Cormick'а по патенту 1833 г. отличался отъ аппарата Hussey'я только тѣмъ, что ножъ его состоялъ не изъ отдѣльныхъ сегментовъ, а былъ цѣльнымъ, гладкимъ или мелко зазубреннымъ (фиг. 3). Первоначально у него тоже пальцы были закрыты съ обѣихъ сторонъ, снизу и сверху, что, какъ и у Hussey'я, вызывало забиваніе аппарата.

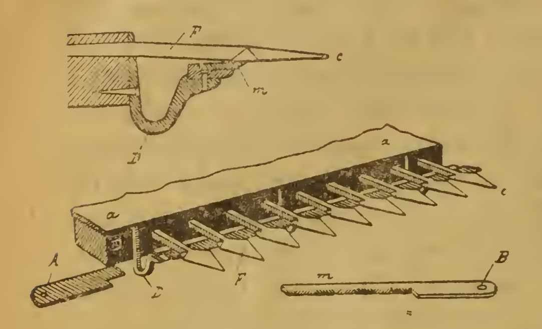


фиг. 3 Рѣжущій аппаратъ Mac Cormick'а до 1839 г

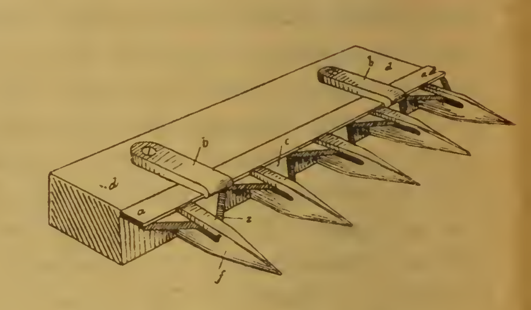
Въ 1842 г. Mac Cormick взялъ патентъ на аппаратъ (фиг. 4), гдѣ этотъ недостатокъ былъ устраненъ тѣмъ что, ножъ просто прижимался снизу къ стрѣлоподобнымъ пальцамъ; но затѣмъ съ 1852 г. онъ опять пере-

шелъ къ рѣжущему аппарату, въ которомъ ножъ двигался въ прорѣзахъ пальцевъ, но только прорѣзы эти сверху были открыты.

Вскорѣ послѣ 1840 года появился аппаратъ G. Rugg'a (фиг. 5), ко-



Фиг 4. Рѣжущій аппаратъ Mac Cormick'a съ 1842 г.



Фиг. 5 Рѣжущій аппаратъ Rugg'a.

торый первый примѣнилъ насѣченныя пластинки, и аппаратъ котораго уже очень похожъ на аппаратъ современныхъ жатвенныхъ машинъ.

Такимъ образомъ, постепенно вырабатывалась конструкція современнаго рѣжущаго аппарата жатвенныхъ машинъ, сохраняя свой основной принципъ—рѣзанія по способу ножницъ.

Современный рѣжущій аппаратъ.

Рѣжущій аппаратъ современныхъ жатвенныхъ машинъ состоитъ изъ двухъ главныхъ элементовъ: изъ активно-рѣжущаго элемента, или собственно ножа, и изъ противорѣжущаго, неподвижнаго элемента, или пальцеваго бруса съ рядомъ набранныхъ на немъ пальцевъ.

Основною деталью противорѣжущаго элемента, да и всего рѣжущаго аппарата, является пальцевый брусъ, который располагается сбоку, впереди машины, и на которомъ собираются отдѣльныя части рѣжущаго аппарата.

Въ косилкахъ, гдѣ рѣжущій аппаратъ на особыхъ башмакахъ скользитъ по поверхности земли, и гдѣ, слѣдовательно, прогибъ въ вертикальной плоскости пальцеваго бруса устраненъ или сведенъ до минимума, пальцевый брусъ дѣлается обыкновенно изъ полосовой стали, положенной плашмя относительно поверхности земли, при чемъ, такъ какъ пальцевый брусъ у косилокъ укрѣпленъ только съ одной стороны, то въ сторону влеченія машины онъ имѣетъ форму бруса равнаго сопротивленія, т. е. толще у мѣста закрѣпленія и тоньше на свободномъ концѣ.

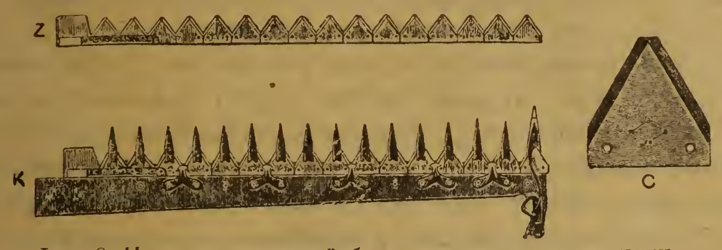
Въ жнеяхъ, гдѣ рѣжущій аппаратъ идетъ на вѣсу, на нѣкоторомъ разстояніи отъ поверхности земли, въ зависимости отъ желаемой высоты рѣзанія, пальцевый брусъ имѣетъ въ поперечномъ сѣченіи фигурную форму,

и именно такую, которая сообщала бы ему наибольшую жесткость не только въ горизонтальномъ направленіи, но и въ вертикальномъ.

Входя въ составъ рамы машины, пальцевый брусъ въ жнеяхъ не измѣняетъ своей формы вдоль своей длины.

Длина пальцеваго бруса зависитъ отъ ширины захвата машины и въ косилкахъ она измѣняется отъ $3^1/_2$ до 5 фут., а въ жнеяхъ, обычно у насъ употребляемыхъ, отъ 5 до 7 фут.

На пальцевомъ брусѣ *K*, посредствомъ болтовъ, укрѣпляется рядъ пальцевъ (фиг. 6) на разстояніи 76 m/m. или 3″ другъ отъ друга. Каждый палецъ (фиг. 7) снабженъ прорѣзомъ, въ нижней части котораго укрѣплена стальная пластинка *P*, называемая пальцевой пластинкой, и служащая собственно противорѣжущей частью въ аппаратѣ. Края пальцевой пластинки обыкновенно снабжаются насѣчкой.



Фиг. 6. Ножъ и пальцевый брусъ косилки съ пальцами.

Для приданія большей устойчивости, пальцы снабжаются боковыми упорами, которыми и соприкасаются другъ съ другомъ. Что касается формы пальцевъ, то имъ придается такая форма, чтобы, выполняя поставленныя имъ требованія, они бы создавали минимальное сопротивленіе при передвиженіи машины въ хлѣбѣ. Выполняются пальцы обыкновенно изъ ковкато чугуна.

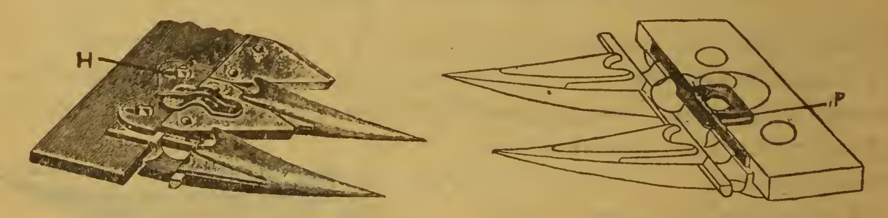
Фиг. 7. Палецъ съ пластинкой.

Изъ такихъ частей состоитъ противорѣжущій элементъ рѣжущаго аппарата жатвенныхъ машинъ.

Что касается активно-рѣжущаго элемента, т. е. собственно ножа *Z* (фиг. 6), то онъ состоитъ изъ ряда плоскихъ, треугольной формы стальныхъ пластинокъ *C* (фиг. 6), вершины которыхъ срѣзаны, укрѣпленныхъ каждая посредствомъ двухъ заклепокъ на такъ называемой, ножевой полосѣ, стальной планкѣ, которая приводится въ колебательное движеніе отъ кривошипнаго механизма. Боковыя стороны ножевыхъ пластинокъ, или такъ называемыхъ „сегментовъ", отточены односторонне, т. е. такимъ образомъ, что нижняя поверхность ихъ, которой они скользятъ по пальцевымъ пластинкамъ,—плоская, чѣмъ достигается возможно плотное прилеганіе лезвія ножевой пластинки къ пальцевой пластинкѣ. Пластинки ножа вы-

полняются обыкновенно толщиной отъ 2 до 2,5 m/m. и шириной у основанія въ 3″. Уголъ наклона боковыхъ отточенныхъ сторонъ варіируетъ обычно отъ 22° до 56°, въ зависимости отъ конструкціи и типа машины. Лезвія ножевыхъ пластинокъ бываютъ или гладкія, или насѣченныя. Послѣднія употребляются только для сухого хлѣба, при чемъ ихъ преимущество заключается въ томъ, что они не такъ быстро тупятся, какъ гладкія. Высота насѣченныхъ „сегментовъ“ дѣлается нѣсколько ниже, чѣмъ гладкихъ, при одномъ и томъ же основаніи, чтобы, какъ полагаютъ, уголъ для пиленія былъ возможно благопріятнѣе. Обычно уголъ рѣзанія, т. е. уголъ лезвія съ перпендикуляромъ изъ основанія, для гладкихъ равняется отъ 28° до 42°, а для насѣченныхъ отъ 40° до 45°.

Какъ уже упоминалось ранѣе, для успѣшности рѣзанія очень важно, чтобы пластинки ножа во время работы плотно прилегали къ пальцевымъ пластинкамъ. Въ современныхъ рѣжущихъ аппаратахъ это обезпечивается примѣненіемъ особыхъ направителей H (фиг. 8), прикрѣпленныхъ къ пальцевому брусу между каждымъ 4 или 5 пальцемъ. Направители эти прижимаютъ ножъ къ пальцевымъ пластинкамъ и препятствуютъ ему во



Фиг. 8. Направитель ножа. Фиг. 9. Подкладка.

время работы отходить вверхъ и тѣмъ вызывать забиваніе машины. Затѣмъ, во избѣжаніе быстраго изнашиванія пальцеваго бруса отъ дѣйствія ножевой полосы, которая во время работы стремится отойти назадъ и прижимается своей спинкой къ пальцевому брусу, подъ направителями H прикрѣпляются особыя подкладки P (фиг. 9), которыя, соприкасаясь непосредственно со спинкой ножевой полосы, предупреждаютъ истираніе пальцеваго бруса. Въ случаѣ истиранія подкладокъ P, они могутъ быть передвинуты, для чего отверстія для болтовъ у нихъ дѣлаются продолговатыми.

Величина размаха ножа зависитъ отъ типа машины. Въ косилкахъ и въ жнеяхъ-лобогрѣйкахъ размахъ ножа равенъ разстоянію между смежными пальцами; въ жнеяхъ-самосбрасывающихъ обычно равенъ тому же разстоянію и только въ отдѣльныхъ случаяхъ двойному; въ жнеяхъ же сноповязалкахъ всегда равенъ двойному. Другими словами, если черезъ S обозначимъ ходъ или размахъ ножа, а черезъ t — разстояніе между смежными пальцами, то

для косилокъ и жней-лобогрѣекъ всегда $S = t$

„ жней-самосбрасывающихъ обычно $S = t$ и въ рѣдкихъ случаяхъ $S = 2\,t$

и для жней-сноповязалокъ всегда $S = 2\,t$.

Во всѣхъ случаяхъ размахъ ножа совершается отъ средины одного къ срединѣ другого пальца. Скорость движенія ножа мѣняется въ зависимости отъ типа машины, и при скорости передвиженія машины 1 mtr/sec., будетъ:

У косилокъ отъ 1,2 до 1,95 mtr/sec.

У жней-самосбрасывающихъ при обычномъ размахѣ ножа отъ 1,1 до 1,3 mtr/sec.. а при двойномъ отъ 1,7 до 2,2 mtr/sec.

У жней-лобогрѣекъ обычно скорость ножа повышенная, какъ у косилокъ, или же дѣлается смѣнная передача, для измѣненія скорости согласно условіямъ работы.

У жней-сноповязалокъ отъ 1,1—1,5 mtr/sec.

Соотвѣтственно этому число оборотовъ кривошипнаго вала равно:

У косилокъ . . . . 580—770.

У жней-самосбрасывающихъ . . . . 330—515.

У жней-сноповязалокъ . . . . 228—284.

Таково, въ общихъ чертахъ, устройство и основные размѣры рѣжущаго аппарата современныхъ жатвенныхъ машинъ. Сравнивая его съ первоначальными аппаратами Hussey'я и Mac Cormick'а, мы видимъ, что идея первыхъ изобрѣтателей осталась нетронутой и шла только, главнымъ образомъ, постепенная разработка конструкціи рѣжущаго аппарата: съ одной стороны устранялись, допущенныя первоначально ошибки, а съ другой—предусматривалась надежность дѣйствія аппарата и возможно болѣе продолжительная работа его.

Теорія рѣжущаго аппарата жатвенныхъ машинъ.

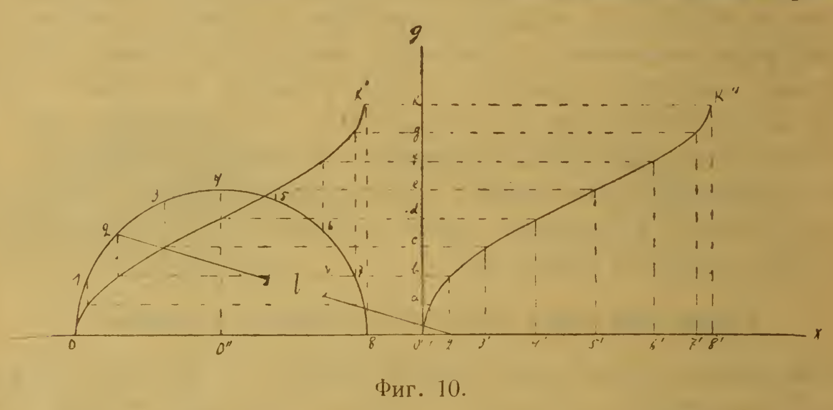
Всматриваясь въ вышеприведенныя данныя относительно рѣжущаго аппарата современныхъ жатвенныхъ машинъ, конструкція котораго въ настоящій моментъ вполнѣ установилась, замѣчаемъ, что въ то время, какъ нѣкоторыя величины, какъ, напр., разстояніе между пальцами, а, слѣдовательно, и размахъ ножа у всѣхъ машинъ даннаго типа сохраняетъ одно и то же значеніе, другія величины, какъ, напр., уголъ наклона лезвія и скорость движенія ножа, наоборотъ, измѣняются въ довольно значительныхъ предѣлахъ, даже для машинъ одного и того же типа. Такъ, напр., уголъ наклона лезвія у косилокъ различныхъ фирмъ разнится на 10°, а скорость движенія ножа на 0,7 mtr./sec.

Понятно, что для конструктора въ первую очередь возникаетъ вопросъ: на какихъ же данныхъ остановиться и изъ какихъ основаній нужно исходить, чтобы взять ту или другую величину, если не желательно просто копировать наиболѣе распространенные образцы. Поэтому, какъ только конструкція рѣжущаго аппарата болѣе или менѣе установилась, появляются попытки найти основанія для выбора тѣхъ или иныхъ размѣровъ и величинъ и дать, по возможности, исчерпывающую теорію рѣжущаго аппарата жатвенныхъ машинъ.

Теорія Wüst'a, Perels'a, Thalimayer'a и Fritz'a.

Первыя попытки въ этомъ направленіи появились въ концѣ семидесятыхъ и началѣ восьмидесятыхъ годовъ прошлаго столѣтія, когда, почти одновременно, выступилъ цѣлый рядъ авторовъ (Prof. Perels[1], Wüst[2], Thallmayer,[3], Fritz[4]) съ изслѣдованіемъ работы рѣжущаго аппарата жатвенныхъ машинъ. Сущность работъ всѣхъ этихъ авторовъ сводилась къ построенію и изученію діаграммъ движенія ножа, заключающихся въ графическомъ изображеніи пути рѣжущихъ лезвій пластинокъ ножа относительно поверхности поля.

Какъ извѣстно, процессъ срѣзыванія стеблей въ жатвенныхъ машинахъ происходитъ слѣдующимъ образомъ. Въ то время какъ машина перемѣщается по полю, ножъ рѣжущаго аппарата совершаетъ колебанія въ направленіи перпендикулярномъ къ направленію движенія машины. Такъ какъ при этомъ движеніе машины по полю принимается равномѣрнымъ, а



Фиг. 10.

ножъ совершаетъ гармоническое колебательное движеніе отъ кривошипа, то результируещее движеніе ножа, т. е. перемѣщеніе его относительно поверхности поля, будетъ движеніемъ по синусоидѣ. Для построенія указанной синусоиды дѣлимъ полуокружность кривошипа (фиг. 10), начерченную въ опредѣленномъ масштабѣ, на нѣсколько равныхъ частей, напр., на 8, и изъ точекъ дѣленія 0,1,2,.8, радіусомъ равнымъ длинѣ шатуна l, засѣкаемъ на продолженіи линіи 08 рядъ соотвѣтствующихъ точекъ 0', 1', 2'...8'. Возстанавливаемъ затѣмъ изъ крайней точки 0' перпендикуляръ и откладываемъ на немъ въ томъ же масштабѣ длину, соотвѣт-

[1]) Perels. „Die Mähemaschinen", Iena 1869.

„ Haudbuch der landw. Maschinenwesens, II Bd, Jena 1880.

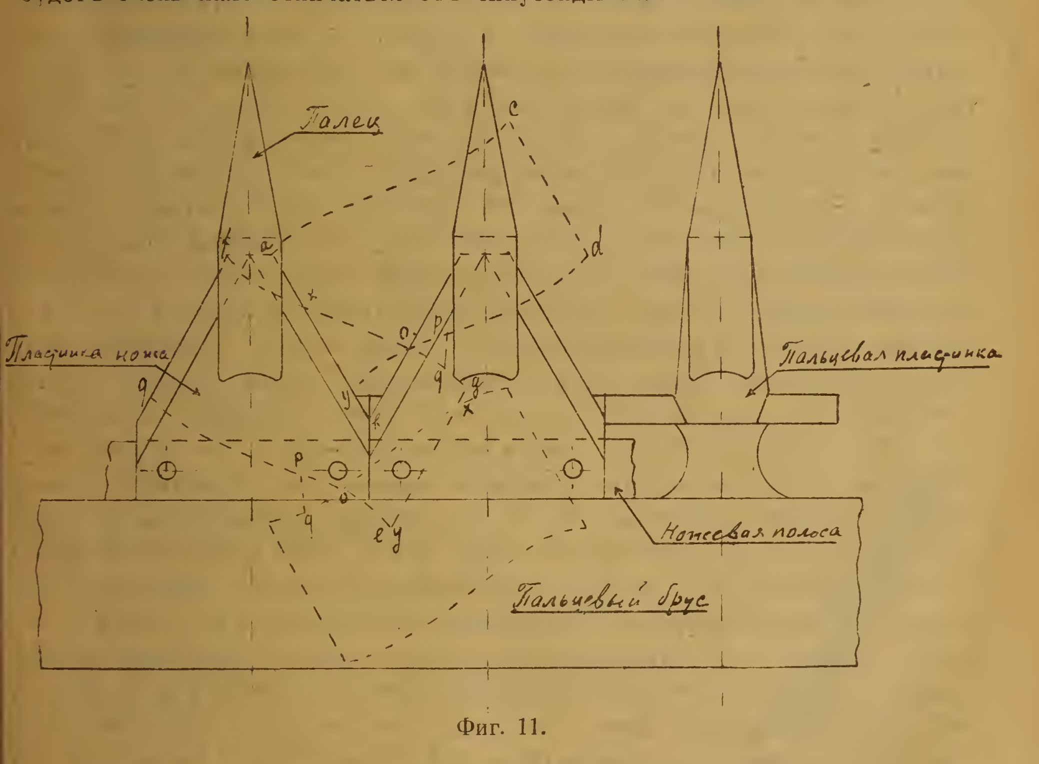
[2]) Wüst. „Die Mähemaschinen der Neuzeit". Leipzig 1875.

„ Laudw Maschinekunde, Berlin 1882 (1-ое изд.) и Berlin 1889 (2 ое изд.).

[3]) Thallmayer. „Zur Beurteilung der Reinheit des Schnittes bei Mähemashinen". Dinglers polyt. Journal, Augsburg. Bd. 224 и 225.

[4]) Fritz. „Handbuch der landw. Maschinen, Berlin 1880.

ствующую перемѣщенію машины за одинъ полуоборотъ кривошипа, напр., $o'k$ (за одинъ оборотъ кривошипа машина пройдетъ путь $= \frac{\pi D}{i}$, гдѣ i — передаточное число отъ ходового колеса къ кривошипу, а D — діаметръ ходового колеса) и раздѣливъ ее на то же число равныхъ частей, проводимъ черезъ точки дѣленія a, b, c и т. д. горизонтальныя линіи до пересѣченія съ перпендикулярами, возстановленными изъ точекъ $1'$, $2'$, $3'$ и т, д. Соединяя кривой полученныя точки пересѣченія, получимъ искомую синусоиду $o'k'$. При этомъ построеніи принята во вниманіе конечная длина шатуна. Если же для упрощенія считать длину шатуна l безконечно большой по сравненію съ радіусомъ r кривошипа, то достаточно вертикали проводить прямо изъ точекъ дѣленія полуокружности 048 до пересѣченія ихъ съ тѣми же горизонталями. Построенная такимъ образомъ синусоида ok'' будетъ очень мало отличаться отъ синусоиды $o'k'$.



Фиг. 11.

Вычертивъ теперь схематично часть рѣжущаго аппарата въ натуральную величину или въ опредѣленномъ масштабѣ (напр., въ $^1/_3$ нат. вел.), заключающую по крайней мѣрѣ два тождественныхъ элемента (фиг. 11), строимъ для крайнихъ точекъ праваго и лѣваго лезвія одного и того же „сегмента“ a, y, f и q соотвѣтствующіей синусоиды ac, yd, fg и qe; тогда площадь $gefg$ представитъ путь, пройденный лезвіемъ fq, при движеніи ножа влѣво, а площадь $aycd$ путь, описанный лезвіемъ ay при движеніи

ножа вправо, т. е. двѣ эти площади изображаютъ пути рѣжущихъ лезвій „сегмента" за одинъ оборотъ кривошипа, а такъ какъ при дальнѣйшихъ оборотахъ кривошипа, картина движенія повторяется, то вычерченная діаграмма движенія ножа вполнѣ достаточна и даетъ полное представленіе о характерѣ движенія рѣжущихъ лезвій ножа.

Разсматривая построенную такимъ образомъ для одного оборота кривошипа діаграмму, мы замѣчаемъ, что при движеніи ножа слѣва направо рѣзать будутъ только правыя лезвія сегментовъ, а при обратномъ движеніи ножа, наоборотъ, будутъ рѣзать только лѣвыя лезвія сегментовъ.

Что же касается характера рѣзанія, то оно можетъ совершаться двоякимъ способомъ: отчасти по способу ножницъ, а отчасти по способу ножа. Обыкновенно, процессъ рѣзанія въ рѣжущемъ аппаратѣ будетъ подобенъ процессу рѣзанія въ ножницахъ, будутъ ли стебли перерѣзаться, поодиночкѣ или же цѣлой массой, когда отдѣльные стебли, какъ замѣчаетъ Wüst [1]), рѣжутся по способу ножа; и только въ исключительныхъ случаяхъ, при свѣже отточенномъ ножѣ возможно перерѣзаніе не подпертыхъ стеблей, какъ это имѣетъ мѣста при работѣ косой. Въ силу этого, такъ какъ обычно острота пластинокъ ножа незначительна, можно принять, что каждое рѣжущее лезвіе „сегмента", при переходѣ изъ положенія ay въ положеніе cd, выйдя изъ прорѣза праваго пальца, рѣзанія производить не будемъ, тѣмъ болѣе, что скорость движенія ножа въ это время стремится къ нулю. Поэтому изъ всей площади $aycd$, пробѣгаемой рѣжущимъ лезвіемъ, только часть, заключенная между начальнымъ его положеніемъ ay и лѣвой кромкой праваго пальца, будетъ площадью срѣза для даннаго лезвія. Кромѣ того, части рѣжущихъ лезвій, лежащія вблизи основанія, т. е. ниже точки y, также не слѣдуетъ принимать въ расчетъ, такъ какъ въ этихъ мѣстахъ лезвія трудно доступны и не могутъ быть какъ слѣдуетъ отточены, что вызываетъ сомнѣніе въ усѣшности рѣзанія ими. Сдѣлавъ эти замѣчанія, мы теперь можемъ раздѣлить каждую площадку на нашей діаграммѣ, заключенную между двумя смежными пальцами и пройденную машиной за одинъ оборотъ кривошипа, на площадки трехъ родовъ. На площадки opq, которыя вовсе не пробѣгаются рѣжущими лезвіями сегментовъ и на которыхъ, слѣдовательно, срѣза совершенно не производится, такъ какъ хотя лезвіе сосѣдняго „сегмента" и заходитъ на нее но, какъ уже было сказано выше, лезвіе, при концѣ хода, по выходѣ изъ прорѣза пальца, рѣзанія не производитъ; на площадки oxy двойного срѣза, которыя дважды пробѣгаются рѣжущими лезвіями; и, наконецъ, на площадки, которыя пробѣгаются только одинъ разъ рѣжущими лезвіями и занимаютъ оставшуюся часть всей разсматриваемой площадки.

---

[1]) A. Wüst Die Mähemaschinen der Neuzeit. Стр. 48.

E. Perels. Handbuch Landwirthschaftlichen maschinenwesens. Zweiter band, стр. 97.

Первые изслѣдователи процесса рѣзанья въ жатвенныхъ машинахъ, имена которыхъ упоминались выше, изслѣдуя діаграмму движенія ножа, обращали главное вниманіе на площадки *opq*, которыя вовсе не пробѣгаются рѣжущими лезвіями и по величинѣ этихъ площадокъ судили о характерѣ работы ножа. Стоящіе на этой площадкѣ стебли, разсуждали они, оставаясь не срѣзанными при пробѣгѣ ножа справа налѣво, при дальнѣйшемъ движеніи машины, будутъ отгибаться впередъ рамой машины и срѣжутся уже въ оттогнутомъ положеніи, при обратномъ пробѣгѣ ножа, слѣва направо, при чемъ максимальный изгибъ стеблей будемъ равенъ отрѣзку *pq*. Если хлѣбъ стоитъ на полѣ болѣе или менѣе вертикально, то такой наклонъ стеблей, говорили они, можетъ и не сыграть большой роли; но если хлѣбъ полеглый, то этотъ дополнительный наклонъ можетъ очень скверно отразиться на работѣ машины и даже повлечь за собой срѣзъ колосьевъ.

Кромѣ такого вліянія на качество работы машины, косой срѣзъ, по мнѣнію первыхъ изслѣдователей, отражается также и на количествѣ затрачиваемой работы. По ихъ мнѣнію, увеличеніе площади срѣза при косомъ срѣзѣ, по сравненію съ нормальнымъ, влечетъ за собой и соотвѣтственное увеличеніе затрачиваемой работы на рѣзаніе. И проф. Wüst въ своей работѣ, „Die Mähemaschinen der Neuzeit“, даетъ примѣрный подсчетъ такого увеличенія затрачиваемой работы, происходящаго отъ отгиба вбокъ стеблей пальцами. Въ самомъ дѣлѣ, при срѣзѣ нормальномъ оси стебля въ сѣченіи будетъ кругъ, радіуса a, а при косомъ срѣзѣ эллипсъ съ осями a и b (фиг. 11), при чемъ величина оси b зависитъ отъ величины отгиба и высоты срѣза. Полагая высоту срѣза $S = 10$ cm., а величину отгиба, при толщинѣ пальцевъ отъ 7 — 9 cm., равной отъ 3,5 до 4,5 cm., и замѣчая (фиг. 12), что

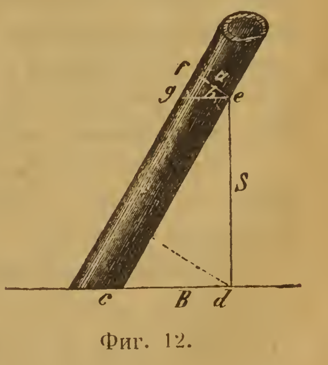
$$\frac{b}{a} = \frac{ce}{S};$$

такъ какъ $ce = \sqrt{B^2 + S^2}$, то

$$\frac{b}{a} = \frac{\sqrt{S^2 + B^2}}{S^2},$$

слѣд., взявъ для отгиба B максимальное значеніе, получимъ, что

$$\frac{b}{a} = \frac{\sqrt{10^2 + 4{,}5^2}}{10} = 1{,}1.$$



Фиг. 12.

Эллиптическая площадь срѣза стебля приблизительно равна $\frac{a+b}{2}\pi\delta$, гдѣ δ — толщина стебля, а круговая $= a\pi\delta$; отсюда отношеніе площадей срѣза равно $\frac{a+b}{2a} = \frac{a + 1{,}1a}{2a} = 1{,}05$, т. е. эллиптическая площадь срѣза больше круговой въ 1,05 раза, а такъ какъ увеличеніе работы, за-

трачиваемой на срѣзъ (по мнѣнію Wüst'а), будетъ пропорціонально увеличенію площади срѣза, то работа рѣзанія отъ отгиба стеблей вбокъ возрастаетъ на 5%. Отсюда увеличеніе общаго усилія тяги выразится въ 1,5%, такъ какъ усиліе тяги, приходящееся на рѣзаніе составляетъ $^1/_3$ отъ общаго усилія. Аналогичный подсчетъ можно сдѣлать и для стеблей, оттогнутыхъ вслѣдствіе существованія площадокъ *opq*.

Такимъ образомъ площадки *opq* вліяютъ не только на качество работы при рѣзаніи, но и на количество ея, а потому присутствіе такихъ площадокъ въ діаграммѣ движенія ножа нужно признать вреднымъ. Что же касается площадокъ двойного пробѣга ножа *oxy*, то присутствіе ихъ въ діаграммѣ движенія ножа, по мнѣнію первыхъ изслѣдователей, не существенно, такъ какъ при вторичномъ пробѣгѣ ножъ пробѣгаетъ по уже срѣзанному мѣсту и потому повторнаго срѣза не производитъ.

Признавая, такимъ образомъ, существованіе площадокъ *opq*, вовсе не пробѣгаемыхъ рѣжущими лезвіями, въ діаграммѣ движенія ножа вреднымъ, первые изслѣдователи совѣтовали такъ конструировать рѣжущій аппаратъ, чтобы по возможности свести величину этихъ площадокъ къ нулю, при чемъ давали даже указанія, въ какихъ случаяхъ можетъ быть допущено существованіе этихъ площадокъ и какой предѣлъ допустимъ въ такихъ случаяхъ. Такъ, напр., Wüst [1]), для машинъ предназначенныхъ исключительно работать въ стоящемъ хлѣбѣ, допускалъ существованіе площадокъ *opq* съ тѣмъ только условіемъ, что величина отрѣзка *pq* была равна отъ $^1/_3$ до $^1/_2$ высоты „сегмента".

Уменьшеніе вредныхъ площадокъ *opq* можетъ быть достигнуто, главнымъ образомъ, увеличеніемъ или скорости ножа, или высоты „сегмента", но такъ какъ оба эти средства небезразличны, такъ какъ въ первомъ случаѣ увеличиваются потери не вредныя сопротивленія, а во второмъ ослабляется „сегментъ", то надо, путемъ построенія діаграммъ, найти наилучшую возможную комбинацію, при которой вредная площадка была бы возможно уменьшена и въ то же время скорость ножа или длина сегментовъ не слишкомъ увеличена.

Чтобы избѣжать при этомъ построенія большого количества діаграммъ, проф. Thallmayer и Wüst предлагаютъ для опредѣленія величины отрѣзка *pq* особыя формулы.

Приближенная формула проф. Thallmayer'а [2]) имѣетъ слѣдующіе видъ.

$$pq = \frac{v}{2}\left(1 + \frac{2d + \frac{b_1}{2} + \frac{b}{2} - 2r}{3{,}14\,r}\right) - h \; . \; . \; . \; . \; . \; (1),$$

гдѣ v — перемѣщеніе машины за одинъ размахъ ножа.

---

[1]) A. Wüst. „Die Mähemaschinen der Neuzeit". Leipzig. 1875. Стр. 58.

[2]) Dingler's. polytechnisches Journal. Augsburg 1877, книга 224, стр. 573.

d — разстояніе нижней рѣжущей точки ножа (лезвія) отъ конца пальца, когда кривошипъ находится въ мертвой точкѣ,
b_1 — ширина „сегмента" внизу,
b — ширина „сегмента" вверху,
r — радіусъ кривошипа,
h — высота „сегмента".

Изъ этой формулы видно, что величина отрѣзка pq будетъ равна нулю, т. е. наклона стеблей не будетъ, если

$$\frac{h}{\frac{v}{2}} = 1 + \frac{2d + \frac{b_1}{2} + \frac{b}{2} - 2r}{3{,}14\,r}.$$

Проф. Wüst [1]), замѣняя движеніе по синусоидѣ движеніемъ по прямой, выводитъ слѣдующую приближенную формулу, которая, по его изслѣдованіямъ даетъ достаточно точные результаты:

$$pq = v\left(1 + \frac{t + e + b - 2a}{2s}\right) - h \quad . \; . \; . \; . \; . \; (2),$$

гдѣ буквы v, h и b имѣютъ тѣ же значенія, что и въ формулѣ (1).
t — разстояніе между срединами смежныхъ пальцевъ,
e — разстояніе между смежными лезвіями внизу,
a — толщина пальца на уровнѣ нижней точки лезвія,
s — ходъ или размахъ ножа [2]).

Формулы Wüst'a и Thallmayer'a въ смыслѣ простоты пользованія, мало чѣмъ отличаются другъ отъ друга, хотя ,повидимому, удобнѣе пользоваться формулой Wüst'a, такъ какъ въ нее не входитъ такой условный размѣръ, какъ размѣръ d въ формулѣ Thallmayer'a

Останавливаясь на формулѣ Wüst'a, замѣчаемъ, что ей можно придать очень простой видъ, положивъ, что $e=0$ и $b=0$, и замѣтивъ, что обычно въ современныхъ рѣжущихъ аппаратахъ $s=t$. Въ самомъ дѣлѣ, для этого случая:

$$pq = \frac{3}{2}v - h - \frac{va}{s} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3).$$

Въ такомъ видѣ даетъ эту формулу и проф. Горячкинъ, выводя ее непосредственно изъ діаграммы движенія ножа [3]).

Но пользоваться этой формулой для опредѣленія величины отрѣзка pq не рекомендуется, такъ какъ величины b и e, несмотря на свою небольшую

---

[1]) A. Wüst. Die Mähemaschinen der Neuzeit". Leipzig. 1875.

[2]) Слѣдуетъ замѣтить, что въ эти формулы входитъ не скорость перемѣщенія машины вообще, а перемѣщеніе машины за одинъ оборотъ кривошипа, поэтому съ увеличеніемъ или уменьшеніемъ скорости перемѣщенія машины характеръ діаграммы не мѣняется.

[3]) В. П. Горячкинъ, Теорія жатвенныхъ машинъ. Петроградъ. 1909 г. стр. 39.

величину, значительно вліяютъ на величину отрѣзка pq. И если e въ нѣкоторыхъ машинахъ и приближается къ нулю, то b никогда нулемъ не бываетъ. Поэтому приходится ограничиться болѣе незначительнымъ упрощеніемъ формулы Wüst'a, положивъ въ ней только, что $s = t$, тогда формула (2) приметъ видъ:

$$pq = v\left(\frac{3}{2} + \frac{e + b - 2a}{2t}\right) - h = \frac{3}{2}\, v\, + $$

$$+ \frac{v}{2t}\left(e + b - 2a\right) - h \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (4).$$

Для случая рѣжущаго аппарата съ удвоеннымъ размахомъ ножа, Wüst выводитъ аналогичную формулу, въ которой соотвѣтственные размѣры обозначены тѣми же буквами, что и въ первомъ случаѣ, съ присоединеніемъ только индексовъ:

$$p_1 q_1 = v_1\left(1 + \frac{e_1 + b_1 - t_1 - 2a_1}{2s_1}\right) - h_1 \; . \; . \; . \; . \; . \; (5).$$

Такъ какъ обычно въ рѣжущихъ аппаратахъ съ ординарнымъ и удвоенымъ размахомъ ножа разстояніе между пальцами одинаково, т. е. $t = t_1$, а размѣры e, b, a и h съ одной стороны и e_1, b_1, a_1 и h_1 съ другой тоже приблизительно равны (за исключеніемъ случая насѣченныхъ и гладкихъ сегментовъ), размахъ же ножа въ одномъ случаѣ вдвое больше, чѣмъ въ другомъ, т. е. $s_1 = 2s$, то формула (5) можетъ быть переписана слѣдующимъ образомъ:

$$p_1 q_1 = v_1\left(1 + \frac{e + b - t - 2a}{4s}\right) - h \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (6).$$

Замѣчая, что въ этомъ случаѣ размахъ ножа вдвое больше разстоянія между пальцами, т. е., что $t = \frac{s_1}{2} = s$ мы получимъ окончательно, что

$$p_1 q_1 = v_1\left(\frac{3}{4} + \frac{e + b - 2a}{4t}\right) - h = \frac{3}{4}\, v_1 + $$

$$+ \frac{v_1}{4t}\left(e + b - 2a\right) - h \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (7);$$

Сравнивая теперь между собой выраженія (4) и (7) для pq, видимъ, что отгибъ стеблей въ случаѣ простого и двойного размаха ножа будетъ тогда одинаковъ, когда $v_1 = 2v$. Въ самомъ дѣлѣ, подставивъ въ выраженіе (7) вмѣстѣ v_1 величину $2v$, получимъ формулу (4). Такимъ образомъ, для одинаковаго отгиба стеблей, т. е. равенства отрѣзковъ pq, въ случаѣ простого и двойного размаха ножа, перемѣщеніе машины за одинъ оборотъ кривошипа должно быть въ первомъ случаѣ вдвое меньше, чѣмъ во второмъ, или, наоборотъ, число оборотовъ кривошипа для

одного и того же перемѣщенія машины должно быть во второмъ случаѣ вдвое меньше, чѣмъ въ первомъ[1]). Дѣйствительно, изъ выраженія для перемѣщенія машина за одинъ оборотъ кривошипа

$$v = \frac{\pi D}{i}$$

видимъ, что для того, чтобы v было вдвое больше при одномъ и той же D, нужно i — передаточное число къ кривошипу—взять вдвое меньше.

Изъ выраженія для средней скорости ножа, при скорости движенія машины 1 mtr/sec.,

$$v_m = \frac{sn}{30} = \frac{60is}{\pi D 30} = \frac{2si}{\pi D} = \frac{2s}{v}$$

замѣчаемъ, что она не мѣняется, если при двойномъ размахѣ сохраненъ тотъ же отгибъ стеблей, что и при простомъ, т. е. $pq = p_1q_1$, такъ какъ въ этомъ случаѣ, хотя размахъ s увеличенъ вдвое, но и во столько же разъ увеличено и перемѣщеніе машины v.

Итакъ, двойной размахъ ножа, при томъ же разстояніи между пальцами, даетъ возможность съ точки зрѣнія этой теоріи, не ухудшая условій рѣзанія, уменьшить число оборотовъ кривошипа, чѣмъ и пользуются въ сноповязалкахъ, гдѣ такое уменьшеніе желательно изъ конструктивныхъ соображеній.

Кромѣ того, увеличеніе размаха ножа вдвое при соотвѣтственномъ уменьшеніи числа оборотовъ кривошипа, уменьшаетъ вдвое число площадокъ opq на данной поверхности поля, т. е. создаетъ и лучшія условія работы для машины.

Что же касается вообще вліянія на величину отрѣзка pq величинъ, входящихъ въ формулу Wüst'а, то отгибъ стеблей возрастаетъ съ увеличеніемъ скорости перемѣщенія машины v, промежутка e и головки b и съ убываніемъ высоты „сегментовъ" h и толщины пальцевъ a.

Изложенная теорія обладаетъ однимъ существеннымъ достоинствомъ— это большая простота рѣшенія поставленнаго вопроса. Дѣйствительно, по этой теоріи вполнѣ достаточно, построеніемъ діаграммъ или просто по формулѣ, подобрать тѣ или другіе размѣры рѣжущаго аппарата и скорость ножа, въ предѣлахъ выработанныхъ практикой, такъ, чтобы величина площадокъ не пробѣгаемыхъ рѣжущими лезвіями ножа сводилась бы къ minimum'у. Но, рѣшая такимъ образомъ поставленный вопросъ, эта теорія совершенно не указываетъ, какимъ путемъ, т. е. путемъ измѣненія какихъ величинъ, лучше рѣшить этотъ вопросъ. Въ силу этого,

[1]) Это положеніе вполнѣ справедливо только при замѣнѣ движенія по синусоидѣ движеніемъ по прямой; при движеніи же по синусоидѣ зависимость будетъ сложнѣе, но во всякомъ случаѣ, при сохраненіи равенства отрѣзковъ pq, перемѣщеніе машины за одинъ оборотъ кривошипа при двойномъ размахѣ ножа будетъ больше-и больше, примѣрно, въ полтора раза.

остаются совершенно невыясненными такіе существенные вопросы, какъ вопросъ объ углѣ наклона лезвія и скорости движенія ножа [1]). Затѣмъ напр., указывая размѣры отрѣзка pq для полеглаго и стоящаго хлѣба, эта теорія совершенно обходитъ молчаніемъ вопросъ, почему для травяныхъ злаковъ, стоящихъ или полеглыхъ, этотъ отрѣзокъ долженъ быть меньше, чѣмъ для хлѣбныхъ злаковъ, какъ это обыкновенно выполняется.

Другими словами, такъ какъ измѣненіе величины отрѣзка pq, обыкновенно и главнымъ образомъ, совершается за счетъ увеличенія скорости движенія ножа, то эта теорія не отвѣчаетъ на вопросъ, почему въ косилкахъ скорость движенія ножа должна быть больше, чѣмъ въ жнеяхъ.

Но можетъ быть эта теорія, не исчерпывая всѣхъ возможныхъ вопросовъ и не давая на нихъ отвѣта, а пользуясь въ такихъ случаяхъ данными практики, въ то же время совершенно правильно указываетъ, что существованіе площадокъ не пробѣгаемыхъ рѣжущими лезвіями ухудшаетъ работу рѣжущаго аппарата, и что задача конструктора при построеніи діаграммы движенія ножа, главнымъ образомъ, сводится къ возможному уменьшенію этихъ площадокъ.

Какъ уже было указано, вредъ отъ отгиба стеблей, по этой теоріи— двоякій. Съ одной стороны отгибъ стеблей ухудшаетъ качество работы и, при сильно полегломъ хлѣбѣ, можетъ повлечь за собой срѣзаніе колосьевъ, а съ другой онъ увеличиваетъ затрачиваемую на рѣзаніе работу.

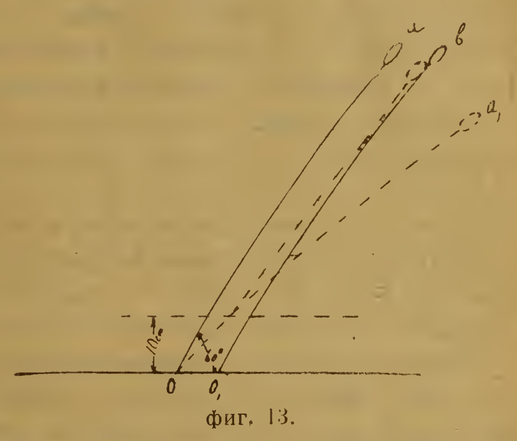
Что касается перваго утвержденія, то на первый взглядъ, разсуждая отвлеченно, отгибъ стебля, уже наклоненнаго въ ту же сторону, можетъ повести или къ полному паденію стебля или къ такому его наклону, когда срѣзываться будутъ только колосья. Конечно, ни то, ни другое явленіе ни въ коемъ случаѣ не желательно.

Но въ дѣйствительности дѣло будетъ не такъ просто. Во-первыхъ, нужно принять во вниманіе, что всякая жнея, хотя бы ея рѣжущій аппаратъ былъ бы идеально сконструированъ по отношенію къ отгибу стеблей, т. е. $pq = 0$, можетъ убирать хлѣбъ, полеглый на ходу машины, только до опредѣленной степени его полеглости. Сильно полеглый хлѣбъ, хотя бы даже рѣжущій аппаратъ и срѣзалъ его вполнѣ удовлетворительно, не можетъ быть убираемъ такой жнеей, потому что мотовильный или грабельный аппаратъ не будетъ его захватывать и исполнять своей работы, и срѣзанные стебли будутъ падать передъ машиной. Такимъ образомъ, какъ видимъ, примѣнимость жней для работы, въ полегломъ по направле-

[1]) Такъ, напр., жатвенная машина, діаграмма рѣжущаго аппарата которой не имѣетъ площадокъ opq, можетъ перемѣщаться по полю съ различной скоростью, сохраняя условіе о площадкахъ въ діаграммѣ. Спрашивается: безразлично-ли для работы машины, если ее перемѣщать со скоростью $v = 1/2$ mtr/sec. или $v = 2$ mtr/sec вмѣсто обычнаго $v = 1$ mtr/sec.? А если не безразлично, то почему и въ какой мѣрѣ играетъ роль при этомъ скорость ножа.

нію движенія машины хлѣбѣ, ограничивается не рѣжущимъ приборомъ, но другими органами машины, которыми и опредѣляется та степень полеглости, въ которой можетъ работать машина.

Допустимъ теперь, что работа жнеи въ полегломъ по ходу машины хлѣбѣ возможна только въ томъ случаѣ, если хлѣбъ наклоненъ maximum подъ угломъ въ 60° къ горизонту. Возьмемъ жнею, рѣжущій аппаратъ которой разсчитанъ только на стоящій хлѣбъ, т. е пусть наибольшій отгибъ стеблей, допускаемый въ ней, или величина отрѣзка pq, равна $^1/_2$ высоты „сегмента", въ среднемъ равной 80 m/m. и посмотримъ, какъ отразится на работѣ жнеи этотъ дополнительный отгибъ стеблей, и будетъ ли въ этомъ случаѣ возможна вообще уборка хлѣба. Изъ рисунка (фиг. 13) ясно видно, что стебель oa, наклоненный предварительно подъ угломъ въ 60° къ горизонту, при обычной высотѣ срѣза $H=10$ см., будетъ переведенъ дополнительнымъ отгибомъ въ положеніе oa_1, при которомъ жнея, по условію, захватить его мотовиломъ или граб. аппаратомъ уже не сможетъ, и подрѣзанный стебель упадетъ передъ машиной, другими словами, условія работы будутъ безусловно ухудшены.



фиг. 13.

Но въ дѣйствительности дѣло такъ бы обстояло только тогда, если бы всѣ стебли, стоящіе на полѣ, получали бы такой дополнительный отгибъ, но какъ разъ такого явленія наблюдаться и не будетъ.

Если мы построимъ для нашей машины діаграмму движенія ножа, (фиг. 10), то увидимъ, что площадка opq, характеризующая отгибъ стеблей. занимаетъ только часть площади, проходимой машиной за одинъ оборотъ кривошипа и заключенной между смежными пальцами, такъ, напр., въ данномъ случаѣ она равна приблизительно $\frac{1}{50}$ указанной площади (въ среднемъ для косилокъ она равна $\infty \frac{1}{50} - \frac{1}{40}$), слѣд., изъ числа всѣхъ стеблей, стоящихъ на данной площади поля, только $\frac{1}{50}$ часть ихъ подвергается, или, вѣрнѣе, можетъ подвергаться дополнительному отгибу. Но, кромѣ того, площадки opq имѣютъ видъ не прямоугольника, а треугольника (фиг. 10) и максимальному отгибу можетъ подвергнуться только стебель, стоящій въ вершинѣ угла opq, всѣ же другіе стебели, по мѣрѣ ихъ удаленія отъ этой вершины, будутъ испытывать все меньшій и меньшій отгибъ. Наконецъ, такъ какъ стебли на полѣ стоятъ на нѣкоторомъ разстояніи другъ

отъ друга, то всегда можетъ случиться такъ, что не только въ вершинѣ угла opq, но и на всей площадки не встрѣтится ни одного стебля.

Но допустимъ худшій случай: допустимъ, что на каждой такой площадкѣ opq, при работѣ машины, встрѣчается стебель хлѣба и притомъ стебель, расположенный въ вершинѣ угла opq.

Обращаясь къ рисунку 13 и вспоминая, что вокругъ и впереди такого стебля стоятъ стебли, которые никакого дополнительнаго отгиба не получаютъ, а верхушки стеблей обычно наклонены и перепутаны, увидимъ, что отгибаемый стебель при своемъ отгибѣ встрѣтитъ такой какой-нибудь стебель, $o_1 b$, стоящій впереди или сбоку, упрется въ него колосомъ, нѣсколько только изогнувшись [1]), и при срѣзѣ съ успѣхомъ будетъ захваченъ мотовиломъ вмѣстѣ съ другими стеблями и положенъ на платформу. Такимъ образомъ, практически никакого вреда такой дополнительный отгибъ не принесетъ и на качествѣ работы машины не отразится.

Итакъ, первое положеніе этой теоріи, что отгибъ стеблей, возникающій отъ существованія въ діаграммѣ площадокъ opq, вліяетъ на качество работы машины, не имѣетъ подъ собой никакого основанія.

Остается второе положеніе: отгибъ стеблей вреденъ потому, что влечетъ за собой косой срѣзъ стебля и соотвѣтственное увеличеніе работы рѣзанія.

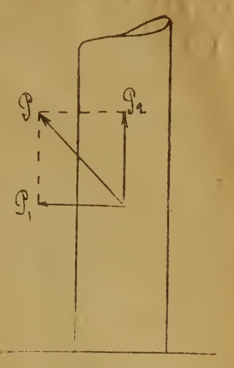
Проф. Горячкинъ, возражая противъ этого положенія [2]), замѣчаетъ, что такое увеличеніе работы довольно проблематично и практически врядъ ли можетъ имѣть какое-нибудь значеніе. Дѣйствительно, изъ выше приведеннаго подсчета Wüst'a для увеличенія работы отъ косого срѣза, при отгибѣ стеблей пальцами, и вполнѣ приложимаго въ разсматриваемомъ случаѣ, т. к. величина отгиба въ 4,5 см. приблизительно равна разсматриваемому отгибу, когда отрѣзокъ $pq = 1/2$ высоты „сегмента", видно, что это увеличеніе равно приблизительно 5%, а увеличеніе общаго усилія срѣза выразится въ 1,5%. Но, во-первыхъ, этотъ подсчетъ сдѣланъ въ томъ предположеніи, что такому отгибу подвергаются всѣ стебли на полѣ, чего въ дѣйствительности нѣтъ, такъ какъ площадки отгиба занимаютъ только часть діаграммы движенія ножа, а во-вторыхъ, какъ уже указывалось, стебли не покрываютъ непрерывно всей поверхности поля, а стоятъ на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга, такъ что на площадкахъ opq и совсѣмъ можетъ не быть стеблей. Кромѣ того, стебли на полѣ стоятъ вообще болѣе или менѣе наклонно и отъ отгиба впередъ могутъ только выпрямиться.

---

[1]) Что такое явленіе произойдетъ, можно убѣдиться, попытавшись въ зрѣломъ хлѣбѣ наклонить отдѣльный стебель, нажимая на него вблизи основанія.

[2]) В. П. Горячкинъ. „Теорія жатвенныхъ машинъ". Петроградъ, 1909 г., стр. 39.

Далѣе, проф. Горячкинъ[1]) высказываетъ то мнѣніе, что косой срѣзъ можетъ быть даже и желателенъ, такъ какъ, съ одной стороны, при косомъ срѣзѣ стебля снизу вверхъ сила рѣзанія P (фиг. 14) можетъ быть разложена на двѣ слагающія P_1 и P_2, изъ которыхъ первая стремится нагнуть стебель, а вторая тянетъ стебель кверху, удерживаетъ его на мѣстѣ и создаетъ лучшія условія рѣзанія; съ другой стороны, при косомъ срѣзѣ уменьшается уголъ разрѣзанія. „Въ виду этихъ соображеній, заключаетъ проф. Горячкинъ, ручная коса всегда устанавливается такъ, чтобы срѣзъ ею былъ не параллеленъ поверхности земли, а наклонно (лезвіе смотритъ вверхъ). Такая установка косы—одно изъ главнѣйшихъ условій для успѣшной работы“.



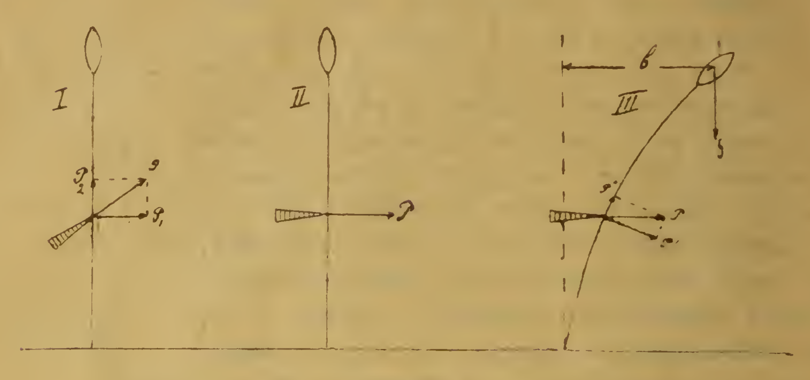
Фиг. 14.

Послѣднее сображеніе проф. Горячкина о желательности косого срѣза, вполнѣ правильное для косы, не подходитъ, по нашему мнѣнію, къ жатвеннымъ машинамъ.

Дѣло въ томъ, что косой срѣзъ въ жатвенныхъ машинахъ происходитъ при иныхъ условіяхъ, чѣмъ при работѣ косой. При работѣ косой, лезвіе косы направлено снизу вверхъ, т. е. непараллельно поверхности земли, стебель же стоитъ вертикально; жатвенная машина, наоборотъ, всегда рѣжетъ параллельно поверхности земли, а косой срѣзъ создается тѣмъ, что стебель стоитъ не отвѣсно, а наклонно (за исключеніемъ случаевъ работы на откосахъ) и потому въ этомъ случаѣ условія рѣзанія будутъ нѣсколько иныя. Въ самомъ дѣлѣ, разсмотримъ три случая рѣзанія: случай первый, когда стебель стоитъ вертикально, а рѣжущее лезвіе направлено снизу вверхъ (случай косы); случай второй, когда стебель вертикаленъ, а лезвіе параллельно поверхности земли (случай нормальнаго срѣза), и, наконецъ, случаи третій, когда стебель наклоненъ, а лезвіе параллельно поверхности земли (случай косого срѣза въ жатвенныхъ машинахъ при отгибѣ стеблей въ сторону движенія ножа) (фиг. 15). Сравнивая случаи I со II, видимъ, что, при равенствѣ рѣжущаго усилія P, условія въ первомъ случаѣ лучше, чѣмъ во второмъ, такъ какъ изгибающій моментъ въ первомъ случаѣ меньше ($P_1 < P$) и, кромѣ того, существуетъ натяженіе стебля силою P_2, дающее ему какъ бы вторую опору. Сравнивая же второй случай съ третьимъ, видимъ, что, хотя въ третьемъ случаѣ изгибающій моментъ отъ рѣжущаго усилія нѣсколько меньше ($P' < P$), но зато появился значительный изгибающій моментъ Gb, гдѣ G — вѣсъ колоса, а b — величина его отклоненія отъ отвѣснаго положенія; натяженіе же стебля силою P'' сомнительно, такъ какъ стебель изгибается обычно по нѣкоторой кривой,

[1]) В. П. Горячкинъ. „Теорія жатвенныхъ машинъ“. Петроградъ, 1909 г., стр. 40—41.

и потому, чтобы создать натяженіе стебля, нужно его еще предварительно вытянуть, т. е. перемѣстить точку приложенія силы P нѣсколько вправо



Фиг. 15.

и, слѣд., еще увеличить наклонъ стебля. Такимъ образомъ, отсюда ясно, что, при равенствѣ усилія P, наиболѣе выгоденъ срѣзъ по первому способу и наименѣе по третьему. Слѣдовательно, косой срѣзъ въ жатвенныхъ машинахъ при отгибѣ стеблей въ сторону движенія лезвія, съ точки зрѣнія условій рѣзанія желателенъ быть не можетъ. Что же касается косого срѣза при отгибѣ стеблей впередъ, въ направленіи перпендикулярномъ движенію ножа, какъ это имѣетъ мѣсто на площадкахъ *opq*, то этотъ срѣзъ не подходитъ подъ указанныя схемы. Здѣсь стебель наклоненъ, какъ въ случаѣ третьемъ, но лезвіе движется не въ плоскости чертежа слѣва направо, въ сторону уклона стебля, а перпендикулярно къ плоскости чертежа, т. е., въ данномъ случаѣ косой срѣзъ есть, но условія рѣзанія тѣ же, что и при второмъ случаѣ, ухудшенныя только тѣмъ, что уголъ разрѣзанія нѣсколько больше. Въ самомъ дѣлѣ, хотя во второмъ случаѣ площадь рѣзанія кругъ, а въ послѣднемъ случаѣ эллипсъ, но срѣзъ идетъ не по большой оси этого эллипса, какъ въ III или I случаяхъ, а по малой. Такъ что и этотъ случай, въ смыслѣ условій рѣзанія, уступаетъ срѣзу нормальному.

Такимъ образомъ, соображенія объ условіяхъ рѣзанія при косомъ и нормальномъ срѣзѣ въ жатвенныхъ машинахъ говорятъ не въ пользу перваго, предполагая, конечно, что усиліе рѣзанія P во всѣхъ случаяхъ одинаково.

Вотъ тѣ соображенія, которыя до сихъ поръ были выдвинуты въ защиту косого срѣза. Основное же положеніе первыхъ изслѣдователей, утверждающее, что увеличеніе площади срѣза стебля, влечетъ за собой пропорціональное увеличеніе работы рѣзанія, до сихъ поръ никѣмъ не подвергалось сомнѣнію, и, наоборотъ, въ литературѣ до настоящаго времени постоянно встрѣ-

чаются на него ссылки[1]). Но, повидимому, какъ разъ это положеніе и должно быть подвергнуто сомнѣнію.

Въ самомъ дѣлѣ, во всѣхъ работахъ, гдѣ это положеніе выдвигается, абсолютно нѣтъ указаній, что оно есть результатъ опыта. Остается предположить, что это положеніе выведено по аналогіи, пользуясь результатами опытовъ надъ рѣзаніемъ другихъ тѣлъ. И, дѣйствительно, для металловъ существуетъ законъ, что работа рѣзанія пропорціональна площади срѣза. И надо думать, что первые изслѣдователи, выдвигая это положеніе, проводили аналогію между рѣзаніемъ стебля и рѣзаніемъ металлическаго стержня. Но, если мы обратимся къ другимъ тѣламъ, гораздо болѣе родственнымъ по своему строенію стеблю, чѣмъ металлы, напр., дереву, то здѣсь такого положенія вывести нельзя. Вотъ что говоритъ по этому поводу проф. Тиме: „Главное отличіе дерева отъ металловъ заключается въ волокнистомъ сложеніи его. При металлахъ сопротивленіе рѣзанію одно и тоже по какому бы направленію рѣзаніе не совершалось, тогда какъ при деревѣ каждому направленію рѣзанія соотвѣтствуетъ различное сопротивленіе[2])... И далѣе: „Относительно сопротивленія рѣзанію дерева вслѣдъ за торцомъ по величинѣ слѣдуетъ направленіе вдоль волоконъ. Сопротивленіе поперекъ волоконъ есть слабѣйшее“ [3])... По даннымъ проф. Тиме, принявъ сопротивленіе рѣзанію поперекъ волоконъ за 1, имѣемъ слѣдующую зависимость между усиліемъ рѣзанія по различнымъ направленіямъ:

	въ торецъ	вдоль волоконъ	поперекъ волоконъ
	5 — 7	2 — 3	1.
и въ среднемъ:	6	3	1.

Во всѣхъ другихъ направленіяхъ, переходныхъ, результаты будутъ средніе.

У другихъ авторовъ[4]), находимъ уже прямо указаніе о затрачиваемой работѣ на рѣзаніе дерева. Именно, что работа рѣзанія въ плоскости волоконъ и по направленію ихъ длины среднимъ числомъ въ 10 разъ меньше

---

[1]) К. Г. Шиндлеръ. „Жнеи и жнеи-сноповязалки“ отчетъ о 2-ой очередной выставкѣ с.-х. машинъ и орудій бывш. въ 1896 г. на Бутырскомъ хуторѣ. Москва. 1897 г. Стр. 28.

В. Ю. Ганъ. Отчетъ о конкурсныхъ испытаніяхъ уборочныхъ машинъ русскаго производства, произведенныхъ по порученію Переселенческаго Управленія лѣтомъ 1907 годъ въ окрестностяхъ Омска и Барнаула. Изв. Бюро за 1907 г. Выпускъ I. Стр. 66.

[2]) И. Тиме. Сопротивленіе металловъ и дерева рѣзанію. Петроградъ. 1870 г. Стр. 86.

[3]) Тамъ же. Стр. 96.

[4]) В. А. Малышевъ и А. П. Гавриленко. Технологія дерева. Москва. 1909 г. Стр. 44—45.

работы рѣзанія въ торецъ, а работа рѣзанія дерева въ плоскости волоконъ, перпендикулярно ихъ длинѣ, въ 15 разъ менѣе работы рѣзанія въ торецъ.

Отсюда видно, что, если мы проведемъ аналогію не между стеблемъ и металлическимъ стержнемъ, а между стеблемъ и деревяннымъ стержнемъ, то утверждать, что работа рѣзанія увеличивается съ увеличеніемъ площади срѣза, ни въ коемъ случаѣ нельзя. Наоборотъ, придется даже предположить, что она нѣсколько уменьшается, такъ какъ при разсмотрѣнномъ выше примѣрѣ, увеличеніе площади отъ косого срѣза выразилось всего въ 1,1 раза, въ то же время, какъ усиліе рѣзанія, принимая данныя проф. Тиме, уменьшается приблизительно въ $1^1/_2$—2 раза. Вспоминая же теперь, что въ случаѣ косого срѣза на площадкахъ *opq*, условія рѣзанія остаются тѣ же, что и для нормальнаго срѣза, и только площадь срѣза соотвѣтственно увеличивается, видимъ, что такой косой срѣзъ даже при незначительномъ измѣненіи усилія рѣзанія по различнымъ направленіямъ можетъ быть если не выгоднѣе, то во всякомъ случаѣ равноцѣненъ срѣзу нормальному.

Итакъ, и второе положеніе первыхъ изслѣдователей, что работа рѣзанія возрастаетъ съ увеличеніемъ площади срѣза, основанное не на данныхъ опыта, а на простой аналогіи, не можетъ быть принято за достовѣрное и требуетъ во всякомъ случаѣ постановки соотвѣтствующихъ опытовъ. Что же касается повседневной практики, то она, какъ намъ кажется, позволяетъ даже утверждать противное. Въ самомъ дѣлѣ, при косьбѣ засореннаго хлѣба можно наблюдать, что коса, ведомая параллельно поверхности земли, встрѣчая на своемъ пути крупный стебель сорной травы, несмотря на сильный взмахъ, не перерѣзываетъ его; но достаточно ту же косу поставить лезвіемъ круто снизу вверхъ, и срѣзъ совершается почти безъ размаха съ небольшимъ усиліемъ; другими словами, срѣзъ въ торецъ требуетъ значительно большого усилія, чѣмъ срѣзъ въ косомъ промежуточномъ направленіи. И скорѣе всего, вредное вліяніе площадокъ *opq* сказывается на работѣ машины не въ томъ, что ухудшаются количество затрачиваемой работы и ухудшается качество работы, въ смыслѣ срѣзанія колоса, а въ томъ, что условія работы ножа ухудшаются, такъ какъ съ увеличеніемъ площадокъ *opq* увеличивается число стеблей, которое должно лезвіе подрѣзать нъ концѣ своего хода. Это явленіе особенно сильно можетъ проявиться при густомъ расположеніи стеблей по поверхности поля.

Резюмируя теперь все сказанное относительно изложенной теоріи, приходится признать, что, несмотря на свою простоту и удобство пользованія, 1) объясненія этой теоріи о площадкахъ *opq*, не соотвѣтствуетъ дѣйствительности и, въ лучшемъ случаѣ, требуетъ опытныхъ данныхъ для своего подтвержденія, 2) она совершенно не уясняетъ значенія отдѣльныхъ элементовъ и вліянія ихъ размѣровъ на успѣшность работы рѣжущаго аппарата, и 3) не рѣшаетъ вопроса о скорости движенія ножа.

Теорія проф. Nachtweh и замѣчанія проф. Гана.

Тѣмъ не менѣе, изложенная выше теорія, болѣе чѣмъ въ теченіи 20-ти лѣтъ являлась единственной, пока въ началѣ настоящаго столѣтія проф. Nachtweh не предложилъ новой теоріи для объясненія работы ножа.

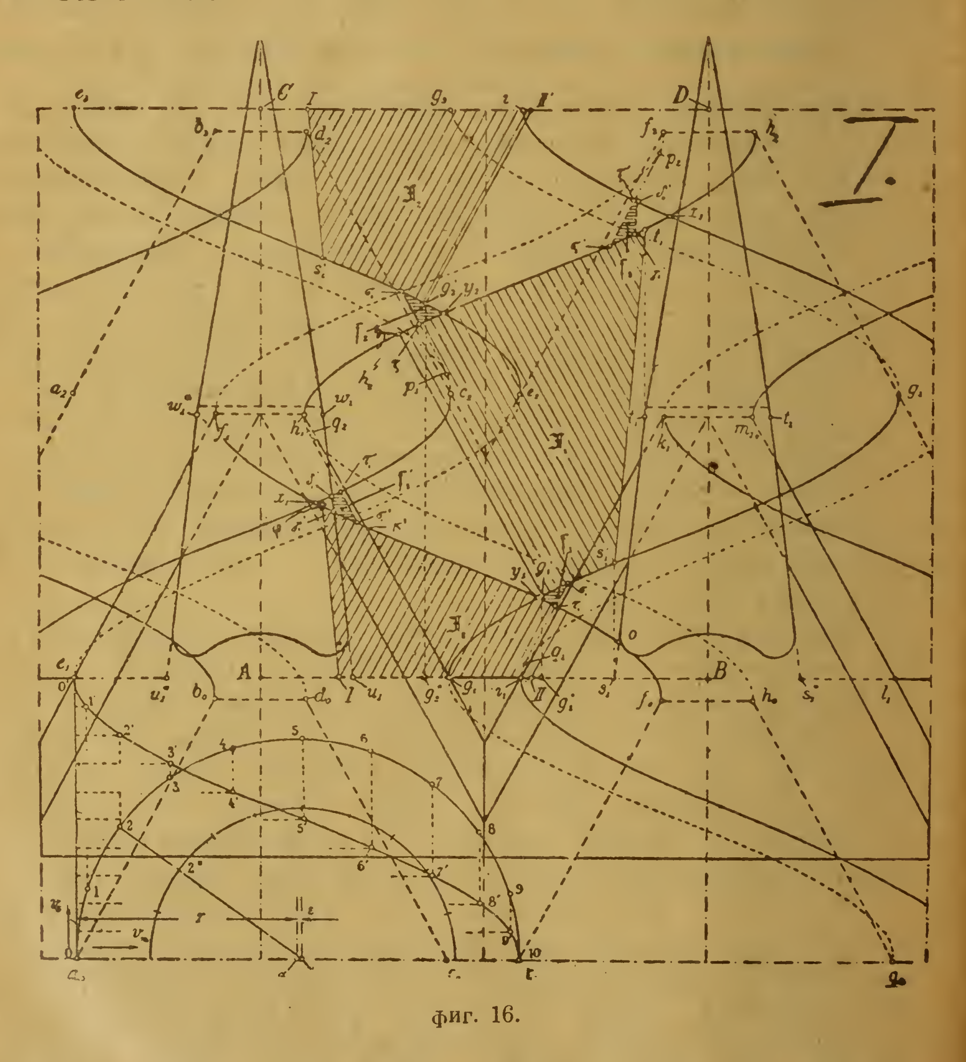
Теорія проф. Nāchtweh [1]) также основана на построеніи діаграммъ движенія ножа, которыя онъ строитъ только гораздо детальнѣе (фиг. 16), а построеніе синусоидъ въ ней выполняетъ слѣдующимъ способомъ: отъ центра полуокружности кривошипа $a_0 5 e_0$ (фиг. 16), нанесенной для удобства подъ діаграммой, откладывается въ сторону движенія „сегмента" отрѣзокъ $E = \frac{r^2}{2l}$, гдѣ r — радіусъ кривошипа, а l — длина шатуна. Изъ полученнаго, такимъ образомъ, полюса β, наз. бицентромъ, какъ изъ центра, описывается вспомогательная окружность произвольнаго радіуса и дѣлится на произвольное число равныхъ частей; на такое же число частей дѣлится и вертикальная прямая $a_0 o'$, проведенная изъ точки a_0. Соединяя затѣмъ точки дѣленія вспомогательной окружности съ ея центромъ β и продолжая полученные радіусы до пересѣченія съ полуокружностью кривошипа, получаемъ на ней рядъ точекъ 1, 2, 3 и т. д. Проводимъ черезъ эти точки рядъ вертикалей до пересѣченія съ горизонталями, проведенными черезъ дѣленія вертикальной прямой $a_0 o'$ и соединяя полученныя точки $0'$, $1'$, $2'$ и т. д., вычертимъ искомую кривую. Этотъ способъ построенія синусоидъ, рекомендуемый проф. Nachtweh и учитывающій конечную длину шатуна, достаточно простъ и удобенъ; единственный только недостатокъ этого способа заключается въ томъ, что приходится пользоваться не исключительно графическимъ методомъ, а приходится прибѣгать къ помощи формулы для опредѣленія положенія полюса β.

Построенной при помощи этого способа діаграммой движенія ножа, въ которой были приняты во вниманіе и пути обрѣзовъ „сегментовъ", проф. Nachtweh даетъ нѣсколько иное толкованіе, чѣмъ прежніе авторы. По его мнѣнію, совершенно неправильно разсматривать всю площадь, пробѣгаемую рѣжущими, или, какъ онъ ихъ называетъ, активными лезвіями каждаго „сегмента", какъ площадь рѣзанія, а также обращать такое исключительное вниманіе на величину площадокъ, не пробѣгаемыхъ ножомъ. По его мнѣнію, рѣжущее лезвіе н и к о г д а въ началѣ своего движенія рѣзать не будетъ. Это было бы тогда возможно, если бы лезвіе „сегмента" было бы остро, какъ бритва. Но такъ какъ этого въ дѣйствительности не бываетъ, то стебли обычно въ началѣ движенія активнаго лезвія не перерѣзаются, а только отклоняются впередъ, въ сторону движенія лезвія. Особенно это замѣтно при рѣзаніи мягкихъ стеблей травы. Въ томъ же моментъ, когда стебли встрѣтятъ препятствіе для своего дальнѣйшаго отклоненія, начинается процессъ рѣзанія.

---

[1]) A. N a c h t w e h. Beiträge zur Kenntnis, Theorie und Beurteilung der Mähmaschinen. Berlin. 1904.

При работѣ жатвенной машины заклиненные между пальцами машины стебли, при началѣ движенія активнаго лезвія g_1h_1, (фиг. 16), не встрѣчаютъ препятствія своему отклоненію въ сторону движенія лезвія, такъ какъ одновременно пассивное лезвіе i_1k_1 ускользаетъ и мало-по-малу скрывается въ прорѣзѣ пальца. Поэтому для точки g_1 активнаго лезвія только тогда начнется рѣзаніе, когда точка i_1 пассивнаго лезвія совпадетъ съ точкой s_1 пальцевой пластинки, такъ какъ въ этотъ моментъ стебли, противолежащіе точкѣ g_1, получатъ подпоръ. При этомъ точка g_1 перейдетъ въ g^*_1 при чемъ $g_1g^*_1 = i_1s_1$.



фиг. 16.

Конецъ рѣзанія для той же точки наступитъ въ тотъ моментъ, когда сама точка g_1 лезвія совпадетъ съ точкой s_1 пальцевой пластинки. Принимая теперь во вниманіе поступательное движеніе машины, ясно, что точка g_1 лезвія при началѣ рѣзанія займетъ на діаграммѣ положеніе g'_1 опредѣляемое

пересѣченіемъ траэкторіи точки g_1 съ перпендикуляромъ изъ точки g^*_1, а въ концѣ рѣзанія—положеніе s_1', опредѣляемое пересѣченіемъ той же кривой съ перпендикуляромъ изъ точки s_1. Что касается точекъ начала и конца рѣзанія для всѣхъ другихъ точекъ активнаго лезвія, то, по мнѣнію проф. Nachtweh точки начала рѣзанія всѣ располагаются на прямой $g_1'h_1'$, параллельной лезвію g_1h_1, а точки конца срѣза—на прямой $s_1't_1'$, параллельной рабочей кромкѣ пальцевой пластинки s_1t_1.

Такимъ образомъ, площадью срѣза для лезвія g_1h_1 будетъ не вся площадь, заключенная между этимъ лезвіемъ и противолежащей пальцевой пластинкой, какъ предполагали раньше, а только часть ея, а именно, заштрихованная площадь $g'_1 h'_1 s'_1 t'_1$ обозначенная на діаграммѣ буквой F_1. Остальная же часть площади, на діаграммѣ незаштрихованная, характеризуетъ отгибъ стеблей и высота ея можетъ быть принята за мѣру этого отгиба. Правильность такого вывода, по мнѣнію проф. Nachtweh, вполнѣ подтверждаетъ картина скошеннаго поля при косомъ солнечномъ освѣщеніи.

Что касается площадокъ двойного пробѣга $g_1 k' y_1$, то, согласно этой теоріи, вреда онѣ никакого не приносятъ, такъ какъ при вторичномъ пробѣгѣ срѣзанные стебли могутъ только отклоняться лезвіемъ g_1h_1, а не срѣзываться, а кромѣ того, предварительный срѣзъ стеблей на площадкѣ $g_1 k' y_1$ входящей въ составъ площади, пробѣгаемой активно лезвіемъ g_1h_1, обусловливаетъ болѣе равномѣрное распредѣленіе стеблей на площадкѣ дѣйствительнаго срѣза — F_1.

Наконецъ, взамѣнъ площадокъ opq, не пробѣгаемыхъ активно рѣжущими лезвіями и разсматриваемыхъ предыдущими авторами, проф. Nachtweh разсматриваетъ площадки, которыя вовсе не пробѣгаются лезвіями, какъ активными, такъ и пассивными. Здѣсь нужно замѣтить, что проф. Nachtweh подобно тому какъ и первые авторы, считаетъ, что каждое активное лезвіе при концѣ своего хода, по выходѣ изъ прорѣза пальца, рѣзанія уже не производитъ и движется, какъ лезвіе пассивное. Площадки же opq, хотя активными лезвіями не пробѣгаются, но пассивными пробѣгаются.

Обращаясь къ діаграммѣ движенія ножа, видимъ, что площадки удовлетворяющія, выдвинутому проф. Nachtweh условію, будутъ:

площадка: $y_1\ \sigma_1\ \tau_1 = f_1$
„ $y_2\ \sigma_2\ \tau_2 = f_2$
„ $\gamma_1'\ \delta_1'\ \tau_1'\ \sigma_1' = f_1'$ и
„ $\gamma_2'\ \delta_2'\ \tau_2'\ \sigma_2' = f_2'$.

Дѣйствительно, площадка f_1, напр., при движеніи ножа справа налѣво не будетъ пробѣгаться не только активнымъ лезвіемъ f_0e_0 при его переходѣ въ положеніе f_1e_1, но и пассивнымъ лезвіемъ k_1i_1 другого „сегмента“, и стебли, стоящіе на ней, будутъ только отклоняться обрѣзомъ f_0h_0 „сегмента“ при переходѣ его въ положеніе f_1h_1. При дальнѣйшемъ движеніи машины стебли эти будутъ наклонены рамой машины и срѣзаны правымъ лезвіемъ разсматриваемаго „сегмента“ при его переходѣ изъ по-

ложенія g_1h_1 въ положеніе g_2h_2. Какъ ясно видно, площадка f_1 составляетъ часть той площадки opq, которую разсматривали первые изслѣдователи, и меньше ее на ту часть поверхности, которая пробѣгается пассивнымъ лезвіемъ i_1k_1. Площадка f_2 тоже получается при движеніи ножа справа налѣво, и стебли на ней отклоняются обрѣзомъ f_0h_0; затѣмъ она тоже не пробѣгается ни активнымъ, ни пассивнымъ лезвіемъ и отличается отъ площадки f_1 только тѣмъ, что стебли, стоящіе на ней, не будутъ отклоняться рамой машины, а отклоненные обрѣзомъ $f_1\,h_1$ и поддержанные въ отклоненномъ состояніи лезвіемъ $h_1\,g_1$ имъ же и будутъ срѣзаны при обратномъ движеніи „сегмента".

Площадки f'_1 и f'_2 аналогичны площадкамъ f_1 и f_2, но получаются при движеніи ножа слѣва направо. Величина площадокъ f_1, f_2, f'_1 и f'_2 и опредѣляетъ, по мнѣнію проф. Nachtweh, такъ наз. чистоту рѣзанія данной машины, т. е. характеризуетъ качество ея работы. Взявъ отношеніе суммы этихъ площадокъ къ опредѣленной единицѣ площади, а также отношеніе площадокъ дѣйствительнаго срѣза F_1 и F_2 къ той же единицѣ площади, получимъ коэффиціенты для чистоты рѣзанія.

$$\eta = \frac{\Sigma f}{\Phi} = \frac{f_1 + f_2 + f'_1 + f'_2}{\Phi}$$

и

$$\zeta = \frac{\Sigma F}{\Phi} = \frac{F_1 + F_2}{\Phi}.$$

За единицу площади Φ проф. Nachtweh беретъ площадь $ABCD$, заключенную между смежными пальцами и пройденную машиной за одинъ оборотъ кривошипа.

Отношеніе же разности площадокъ собственно срѣза ΣF и площадокъ не пробѣгаемыхъ лезвіями Σf_1 къ той же единицѣ площади, проф. Nachtweh называетъ эффектомъ рѣзанія или скашиванія и обозначаетъ черезъ ξ; т. е. эффектъ рѣзанія

$$\xi = \frac{\Sigma F - \Sigma f}{\Phi} = \zeta - \eta.$$

Провѣривъ свои выводы на цѣломъ рядѣ машинъ, проф. Nachtweh приходитъ къ слѣдующему заключенію. Для удовлетворительной работы рѣжущаго аппарата необходимо, чтобы коэф. η равнялся нулю, а коэф. ξ былъ бы возможно великъ. Задача конструктора при этомъ состоитъ въ томъ, чтобы соотвѣтствующимъ образомъ подобрать отношеніе между среднею скоростью ножа v_m и скоростью машины v_s, такъ какъ, хотя размѣры самого аппарата тоже вліяютъ на величины коэф. η и ξ, но выработанные многолѣтней практикой они допускаютъ лишь незначительное измѣненіе. Практически это достигается путемъ построенія діаграммъ движенія ножа и ихъ планиметрированія; никакихъ формулъ для непосредственнаго опредѣленія величинъ площадокъ f и F, а слѣд. и коэф.

η и ξ проф. Nachtweh не даетъ, такъ какъ считаетъ, что графическій методъ проще и точнѣе.

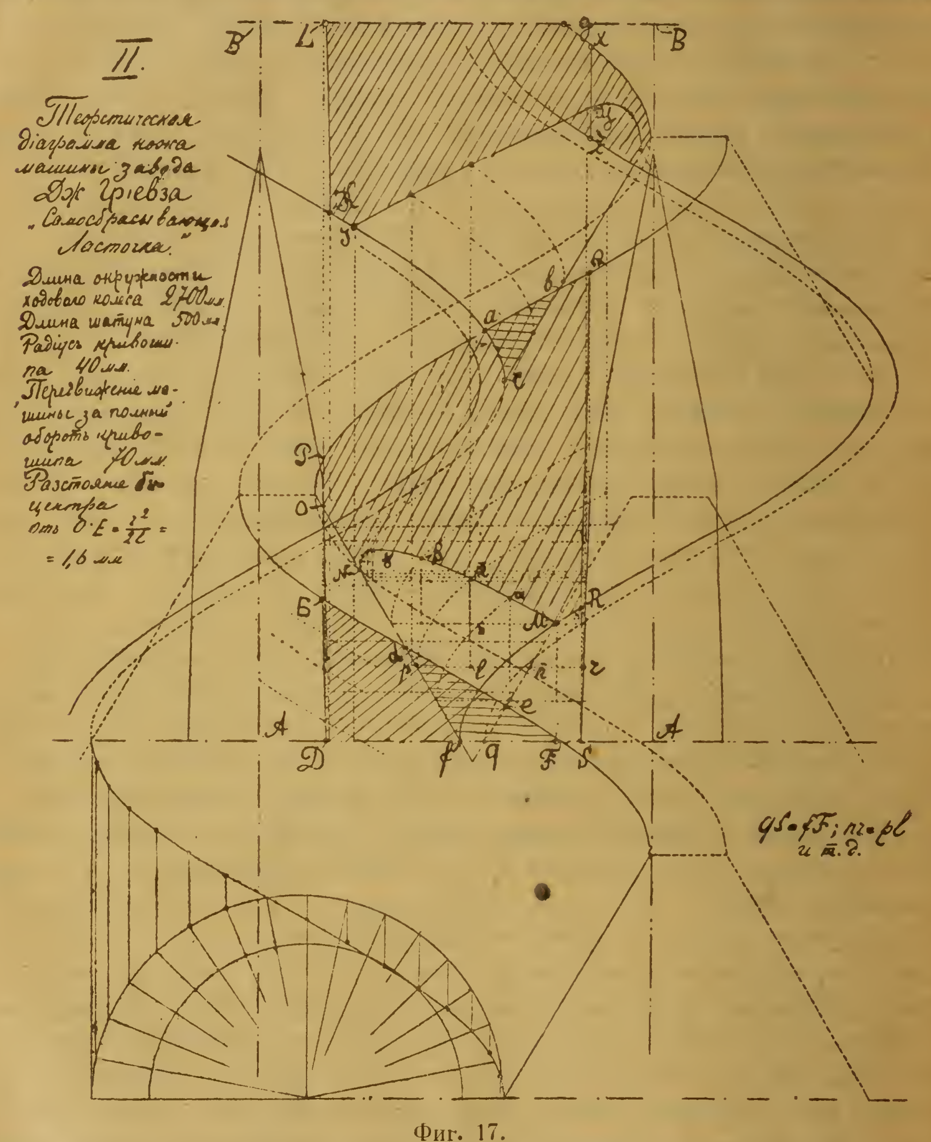
Сравнивая приведенную теорію рѣжущаго аппарата, предложенную проф. Nachtweh, съ предыдущей, видимъ, что сущностью предлагаемаго рѣшенія она мало чѣмъ отличается отъ теоріи Wüst'a, Perels'a и др. Такъ же, какъ и та теорія, она совершенно не затрагиваетъ такихъ существенныхъ вопросовъ, какъ скорость ножа и уголъ наклона лезвія и, какъ видимъ, ограничивается только изслѣдованіемъ той же діаграммы движенія ножа, предлагая нѣсколько иной способъ ея толкованія. Что же касается этого толкованія, то проф. Nachtweh прежде всего подчеркиваетъ, что вначалѣ движенія ножа рѣжущія лезвія „сегментовъ" срѣза производить не будутъ, пока стебли не упрутся въ противолежащій палецъ. Это утвержденіе въ сущности ничего новаго не даетъ. И прежніе авторы, говоря о характерѣ рѣзанія въ рѣжущемъ аппаратѣ, высказывали мнѣніе, что срѣзываніе не подпертыхъ стеблей возможно только при свѣже отточенномъ ножѣ; кромѣ того, указанія на этотъ счетъ можно видѣть и въ томъ утвержденіи первыхъ авторовъ, что рѣжущее лезвіе въ концѣ своего хода, по выходѣ изъ прорѣза пальца рѣзанія уже не производитъ. Такимъ образомъ, разница между теоріей проф. Nachtweh и первыхъ изслѣдователей въ этомъ отношеніи заключается только въ томъ, что первые изслѣдователи, признавая отгибъ стеблей лезвіями, не пользовались имъ для сужденія о характерѣ работы рѣжущаго аппарата, проф. же Nachtweh, наоборотъ, пытается учесть отгибъ стеблей и вводитъ для этого спеціальный коэффиціентъ.

Такая попытка сразу выдвигаетъ вопросъ объ опредѣленіи начальнаго момента рѣзанія, т. е. вопросъ о величинѣ отгиба стеблей. Какъ мы уже видѣли, проф. Nachtweh рѣшаетъ этотъ вопросъ предположеніемъ, что начало рѣзанія наступитъ въ тотъ моментъ, когда пассивное лезвіе скроется въ прорѣзѣ пальца и стебли получатъ подпоръ, при чемъ опредѣляетъ построеніемъ положеніе въ этотъ моментъ только нижней точки лезвія g_1, а о всѣхъ остальныхъ точкахъ лезвія g_1h_1 заключаетъ, что онѣ въ соотвѣтствующіе моменты расположатся на прямой паралллльной лезвію g_1h_1 и проведенной черезъ опредѣленное уже положеніе точки g_1. Но такое заключеніе, какъ это впервые замѣтилъ проф. Ганъ [1]), является въ значительной степени произвольнымъ. И, по мнѣнію проф. Гана, гораздо послѣдовательнѣе было бы находить геометрическія мѣста всѣхъ точекъ лезвія въ моментъ начала рѣзанія при помощи построенія аналогичнаго построенію, сдѣланному для точки g_1 лезвія, а не простымъ проведеніемъ прямой параллельной лезвію g_1h_1. Если это замѣчаніе принять во вниманіе и опредѣлить построеніемъ положеніе всѣхъ точекъ лезвія въ начальный моментъ рѣзанія, то площадь срѣза приметъ видъ, приведенный на діаграммѣ движенія ножа

[1]) Отчетъ о конкурсныхъ испытаніяхъ уборочныхъ машинъ русскаго производства, произведенныхъ по порученію Пересел. Управл. лѣтомъ 1907 г. въ окрестностяхъ Омска и Барнаула. Изв. Бюро по с.-х. механикѣ за 1909 г. Выпускъ I.

(фиг. 17), которая была построена проф. Ганомъ для жатвенной машины зав. Гріевза.

Но вообще нужно сказать, что сдвигъ стеблей, опредѣляемый на діаграммѣ по способу проф. Nachtweh или Гана, будетъ довольно гадательнымъ.



Фиг. 17.

Во-первыхъ, предположенія о характерѣ сдвига можетъ быть и отвѣчали бы дѣйствительности, если бы дѣло шло исключительно о срѣзѣ стеблей короткихъ, не несущихъ на себѣ колоса; но, напр., для хлѣба, верхнія части стеблей котораго перепутаны между собой разнообразнымъ и прихотливымъ способомъ, приходится сильно сомнѣваться, чтобы съ одной стороны картина сдвига была бы такъ планомѣрна, какъ это изображаетъ діаграмма, а съ другой стороны и вообще отвѣчала дѣйствительности.

Въ самомъ дѣлѣ, обращаясь къ діаграммѣ проф. Nachtweh (фиг. 16), видимъ, что всѣ стебли, расположенные по оси AC лѣваго пальца, отъ горизонтали точки x_1 вверхъ до обрѣза f_1h_1 „сегмента", чтобы быть срѣзанными, должны отклониться почти на половину разстоянія между пальцами, т. е. на 38—40 m/m., что, при высотѣ стебля хлѣбныхъ злаковъ въ 800—1000 m/m., и высотѣ срѣза 100 m/m. даетъ отклоненіе стебля на высотѣ колоса въ 8—10 разъ большее, чѣмъ въ мѣстѣ срѣза, т. е. выразится приблизительно въ 300-400 m/m. Но, какъ уже указывалось раньше, это врядъ ли возможно, такъ какъ сопротивленіе отклоненію возрастетъ настолько, что стебель будетъ перерѣзанъ значительно раньше, чѣмъ отклоненіе сможетъ достигнуть указанной величины. И чѣмъ гуще и выше будутъ стебли, тѣмъ вѣроятность такого отклоненія будетъ уменьшаться, при переходѣ же къ болѣе рѣдкому и низкому стеблю такое значительное отклоненіе стебля, наоборотъ, будетъ болѣе вѣроятно. На основаніи этихъ соображеній гораздо вѣроятнѣе предполагать, что отгибъ стеблей будетъ совершаться такъ, какъ рисуетъ его проф. Ганъ такъ какъ, кромѣ формальной правильности въ построеніи, здѣсь самый отгибъ будетъ значительно меньше. Такъ, напр., для діаграммы проф. Nachtweh (фиг. 16), характерной между прочемъ для косилокъ, прямую $f_1'g_1'$ нужно будетъ замѣнить кривой, расположенной влѣво отъ этой прямой и проходящей черезъ ту же точку g'_1, а вслѣдствіе этого стебли, стоящіе выше горизонтали точки τ'_1 уже никакого отгиба, кромѣ отгиба отъ пальца, испытывать не будутъ. На величину отгиба, кромѣ того, вліяетъ еще и строеніе самого стебля: стебли жесткіе, спѣлыхъ, вполнѣ созрѣвшихъ хлѣбныхъ злаковъ будутъ оказывать большее сопротивленіе, чѣмъ мягкіе и гибкіе стебли травы. Поэтому, при одной и той же остротѣ лезвія бóльшій отгибъ, конечно, могутъ получить стебли травы.

Изъ всего сказаннаго слѣдуетъ, что величина отгиба стеблей зависитъ не только отъ конструкціи рѣжущаго аппарата, но и отъ тѣхъ условій, при которыхъ ему приходится работать; при этомъ мягкій и низкій стебель будетъ болѣе благопріятствовать увеличенію отгиба, чѣмъ жесткій и высокій стебель. Разсматривая же діаграммы, приводимыя у проф. Nachtweh, замѣчаемъ, что рѣжущіе аппараты жней сообщаютъ большій отгибъ стеблямъ, чѣмъ таковые же косилокъ. Въ самомъ дѣлѣ, выписывая значеніе коэф. $\zeta = \frac{\Sigma F}{\Phi}$, получимъ слѣдующую таблицу:

	Значеніе коэффиціента ζ.		
	Для кос.	Жней.	Снопы.
Champion	0,341	0,342	0,182
M.-Harris	0,386	0,277	0,251
Albion	0,430	0,357	0,304
Wood	0,468	0,301	0,300
Deering	0,413	0,256	0,232
Milwaunee	0,341	—	0,201

т. е. величина коэф. ζ для жней понижается, а. слѣдовательно, величина площади отгиба стеблей увеличивается. Такое явленіе врядъ ли будетъ существовать въ дѣйствительности. Наоборотъ, надо думать, что, такъ какъ хлѣбные злаки оказываютъ большое сопротивленіе отгибу какъ вслѣдствіе большой высоты, такъ и вслѣдствіе своего строенія, то такое кажущееся увеличеніе площадокъ сдвига въ жнеяхъ не страшно, и хотя при принятомъ условномъ построеніи отгибъ стеблей у жней будетъ показанъ большой, но въ дѣйствительности онъ можетъ быть одинаковъ или даже меньше, чѣмъ у косилокъ.

На основаніи всѣхъ этихъ соображеній слѣдуетъ думать, что пользованіе, при толкованіи діаграммъ движенія ножа, коэф. ζ, а слѣд. и коэф. ξ, величина которыхъ трудно опредѣлима и зависитъ отъ качества и густоты подрѣзаемыхъ стеблей, безусловно неправильно и можетъ дать только ошибочное представленіе о конструкціи рѣжущаго аппарата.

Да и самъ проф. Nachtweh, давая указанія, какимъ требованіямъ долженъ удовлетворять хорошо сконструированный рѣжущій аппаратъ, обходитъ молчаніемъ коэф. ζ, а относительно коэф. ξ, равнаго разности коэф. ζ и η, приводитъ довольно неопредѣленное требованіе, что онъ долженъ быть возможно большимъ, являющееся, вѣроятно, только слѣдствіемъ опредѣленнаго требованія для коэф. η.

Переходя теперь къ коэф. η, къ которому проф. Nachtweh предъявляетъ уже болѣе опредѣленныя требованія и который поэтому можетъ служить для оріентированія при выборѣ той или другой системы рѣжущаго аппарата, нужно замѣтить, что площадки f_1 и f_2 отличаются отъ площадокъ *opq* первыхъ изслѣдователей только тѣмъ, что они меньше послѣднихъ на величину площадки, пробѣгаемой пассивнымъ лезвіемъ. Площадки же f'_1 и f'_2 совершенно не учитывались первыми авторами. Но, какъ тѣ, такъ и другія по существу мало отличаются отъ площадокъ *opq*: на нихъ тоже не производится срѣза, и онѣ также вызываютъ отгибъ стеблей. Въ силу этого всѣ возраженія, сдѣланныя выше относительно вліянія площадокъ *opq* на качество и количество затрачиваемой работы въ рѣжущемъ аппаратѣ, приложимы и здѣсь, тѣмъ болѣе, что никакихъ новыхъ соображеній почему эти площадки вредны, проф. Nachtweh не высказываетъ. Главное, что говоритъ противъ пользованія площадками f_1, f_2, f'_1 и f'_2 при толкованіи діаграммъ, это то, что они, какъ это совершенно правильно замѣтилъ проф. Ганъ, обыкновенно на діаграммахъ очень малы и потому врядъ ли могутъ оказывать какое-нибудь существенное вліяніе на работу рѣжущаго аппарата.

Резюмируя теперь все сказанное о теоріи проф. Nachtweh, видимъ, что по сравненію съ предыдущимъ способомъ, этотъ способъ толкованія діаграммы движенія ножа преимуществъ никакихъ не даетъ. Наоборотъ, онъ, съ одной стороны, усложняется учитываніемъ величины отгиба стеблей, а съ другой—площади *opq* первыхъ изслѣдователей доведены въ немъ до такихъ незначительныхъ размѣровъ, что разсмотрѣніе ихъ теряетъ всякій практическій смыслъ.

Проф. Ганъ, высказывая свои соображенія о площадкахъ f_1, f_2, f'_1 и f'_2, предлагаетъ взамѣнъ этихъ площадокъ разсматривать площадки, дважды пробѣгаемыя рѣжущими лезвіями. Площадки эти на діаграммѣ (фиг. 17) заштрихованы двойной штриховкой. По мнѣнію проф. Гана, получающаяся, отъ вторичнаго пробѣга рѣжущаго лезвія по уже скошенному мѣсту, безполезная потеря въ работѣ ножа, имѣетъ гораздо бòльшое значеніе, чѣмъ площадки f_1, f_2 и т. д. Вслѣдствіе этого, обозначая площадки двойного пробѣга черезъ m, m_1, m_2 и m_3, проф. Ганъ, рекомендуетъ характеризовать рѣжущій аппаратъ отношеніемъ этихъ площадокъ къ опредѣленной площади, т. е. разсматривать слѣдующіе коэффиціенты:

$$\zeta_1 = \frac{\Sigma F}{\Phi},$$

величина котораго отлична отъ величины соотвѣтствующаго коэф. ζ у проф Nachtweh, вслѣдствіе иного способа опредѣленія начала рѣзанія,

$$\eta_1 = \frac{m_1 + m_2 + \ldots}{\Phi} = \frac{\Sigma m}{\Phi}$$

и

$$\zeta = \frac{\Sigma F - \Sigma m}{\Phi}.$$

Здѣсь мы видимъ попытку дать новый способъ толкованія діаграммы движенія ножа. Къ сожалѣнію, проф. Ганъ, давая значеніе коэф. η_1 для незначительнаго числа діаграммъ, притомъ только исключительно для діаграммъ движенія ножа жней, совершенно не указываетъ, какія же значенія можетъ и долженъ имѣть коэф. η въ различнаго рода машинахъ. Вопросъ же этотъ тѣмъ болѣе важенъ, что, какъ увидимъ ниже, проф. Горячкинъ доказываетъ, что избѣгнуть площадокъ двойного пробѣга въ рѣжущемъ аппаратѣ невозможно. Но, кромѣ того, толкованіе діаграммъ по такому способу врядъ ли правильно. Въ самомъ дѣлѣ, при этомъ способѣ разсматривается и учитывается, такъ сказать, отрицательная работа ножа, т. е. та работа, которую онъ совершенно непроизводительно затрачиваетъ, но ничего не говорится о положительной работѣ ножа. И можетъ случится, что, уменьшая площадки двойного пробѣга, т. е. уменьшая затрачиваемую непроизводительно работу, мы тѣмъ самымъ такъ загрузимъ лезвія, что аппаратъ и совсѣмъ откажется работать. Въ этомъ собственно и заключается главный недостатокъ этого способа. Онъ очень простъ, ясенъ, точно указываетъ насколько одинъ аппаратъ больше расходуетъ непроизводительно работы, чѣмъ другой; но насколько данный аппаратъ вообще пригоденъ въ работѣ, онъ совершенно не указываетъ.

Теорія рѣжущаго аппарата проф. Горячкина.

Основнымъ моментомъ до сихъ поръ разсмотрѣнныхъ теорій рѣжущаго аппарата жатвенныхъ машинъ является толкованіе по тому или иному способу діаграммы движенія ножа.

Совершенно иначе подходитъ къ рѣшенію поставленнаго вопроса проф. Горячкинъ [1]). Съ одной стороны онъ также удѣляетъ вниманіе разсмотрѣнію діаграммъ движенія ножа и, критикуя предложенные способы толкованія, высказываетъ свои соображенія, но съ другой стороны, и что самое главное, онъ пытается дать отвѣты на такіе вопросы, какъ вопросъ объ углѣ наклона лезвія и вопросъ о скорости ножа. И эта часть соображеній проф. Горячкина наиболѣе цѣнна и интересна.

Переходя къ изложенію соображеній проф. Горячкина, мы сначала остановимся на тѣхъ его соображеніяхъ, которыя относятся къ разсмотрѣнію и толкованію діаграммъ движенія ножа, а затѣмъ уже перейдемъ къ вопросамъ о скорости ножа и углѣ наклона лезвія.

Что касается возраженій противъ способовъ толкованія діаграммъ, изложенныхъ раньше, то проф, Горячкинъ, главнымъ образомъ не соглашается съ тѣмъ взглядомъ на косой срѣзъ и его вліяніе на работу жатвенной машины, котораго придерживались первые изслѣдователи. Сущность его возраженій сводится къ слѣдующимъ двумъ основнымъ положеніямъ: 1) увеличеніе работы рѣзанія отъ косого срѣза не такъ велико, чтобы съ нимъ можно было считаться, 2) косой срѣзъ можетъ быть даже желателенъ.

При изложеніи теоріи Wüst'a, Perels'a и др. мы подробно останавливались на этихъ положеніяхъ, и тогда нами уже было указано, насколько эти положенія основательны, поэтому теперь мы этого здѣсь повторять не будемъ.

Отрицая значеніе косого срѣза, проф. Горячкинъ обращаетъ вниманіе на то, что при толкованіи діаграммъ совершенно упускаются изъ виду тѣ площадки, по которымъ ножи пробѣгаютъ дважды; между тѣмъ какъ такой двойной пробѣгъ долженъ, по мнѣнію проф. Горячкина, быть признанъ безусловно болѣе вреднымъ, чѣмъ отгибъ стеблей и косой срѣзъ. По его мнѣнію, лезвія „сегментовъ", проходя вторично по срѣзанному жнивью, вслѣдствіе колебанія машины и перепутанности стеблей, могутъ срѣзать жнивье, чѣмъ и объясняется, по мнѣнію проф. Горячкина, часто наблюдаемое появленіе мелкихъ обрѣзковъ соломы сзади машины. Высказанное соображеніе съ перваго взгляда кажется аналогичнымъ одновременно высказанному соображенію проф. Гана о площадкахъ двойного пробѣга и приведенному нами выше. Но, хотя здѣсь и тамъ разсматриваются однѣ и тѣ же площадки, разница заключается въ томъ, что проф. Ганъ, говоря о вредѣ площадокъ двойного пробѣга, имѣлъ въ виду только потерю работы на холостой ходъ ножа, проф. же Горячкинъ полагаетъ, что на этихъ площадкахъ происхо-

---

[1]) В. П. Горячкинъ. „Теорія жатвенныхъ машинъ".

дитъ повторный срѣзъ стебля, т. е., кромѣ потери на холостой ходъ ножа, затрачивается еще энергія на добавочный, совершенно непроизводительный срѣзъ стеблей.

Конечно, такое предположеніе значительно усугубляетъ значеніе площадокъ двойного пробѣга, выдвинутыхъ первоначально проф. Ганомъ [1]).

Противъ такого способа толкованія діаграммы движенія ножа можно привести тоже возраженіе, что и противъ способа, предложеннаго проф. Ганомъ, т. е. что онъ страдаетъ нѣкоторой односторонностью и, говоря о затрачиваемой машиной работѣ и учитывая ее, совершенно не даетъ представленія о томъ, какъ вообще работа машиной использована, а, во-вторыхъ, и сама идея вторичнаго срѣза стебля вызываетъ сильныя сомнѣнія. Въ самомъ дѣлѣ, съ одной стороны трудно вообще допустить срѣзъ жнивья болѣе или менѣе короткаго и притомъ на очень незначительную величину, а съ другой—указанныя площадки, какъ видно изъ діаграммы, при первомъ пробѣгѣ ножа лежатъ въ площадкахъ срѣза F_1 стеблей т. е. подрѣзаются возможно низко, а наоборотъ, при вторичномъ пробѣгѣ, попадаютъ уже въ площадки отгиба стеблей, на которыхъ, по теоріи проф. Nachtweh, даже и цѣлые стебли не будутъ срѣзаться, а будутъ только отгибаться. Если бы дѣло было наоборотъ, если бы при первомъ пробѣгѣ ножа эти площадки лежали въ площадкахъ отгиба стеблей, а при второмъ—въ площадкахъ срѣза, то тогда можно было бы допустить, что стебель, наклоненный при первомъ пробѣгѣ и въ силу этого срѣзанный дальше отъ корня, при второмъ срѣзѣ выпрямится и, подпертый пальцевой пластинкой, будетъ нѣсколько подрѣзанъ.

Но если даже допустить, что картина отгиба стеблей, рисуемая проф. Nachtweh, неправильна, то и тогда вторичный срѣзъ стеблей будетъ только тогда возможенъ, если рѣжущій аппаратъ машины въ этотъ моментъ почему-либо понизится, и, кромѣ того, ножъ будетъ рѣзать по способу косы, такъ какъ во всякомъ случаѣ разсматриваемыя площадки при второмъ срѣзѣ лежатъ вдали отъ противорѣжущихъ пальцевыхъ пластинокъ. Но первое явленіе есть чисто случайное явленіе, являющееся результатомъ мѣстныхъ неровностей почвы и потому врядъ ли можетъ быть учитываемо при конструированіи рѣжущаго аппарата; второе же явленіе, явленіе срѣза по способу косы уже подрѣзанныхъ стеблей безусловно не отвѣчаетъ дѣйствительности, такъ какъ масса стебля, инерціей которой пользуются при работѣ косой, сведена въ данномъ случаѣ почти къ нулю, и что такой срѣзъ очень труденъ, легко можно убѣдиться на опытѣ: стоитъ попробовать косить пожнивье, какъ можно выше отъ поверхности земли.

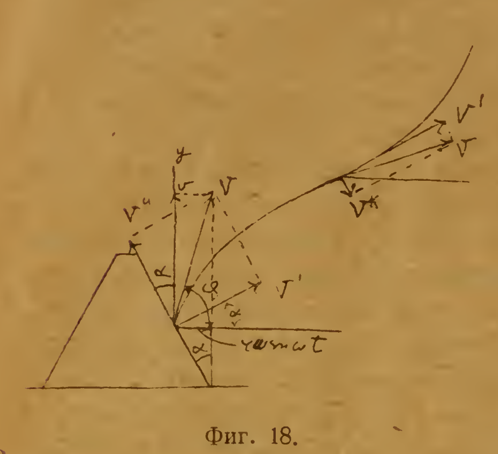
Гораздо интереснѣе попытки проф. Горячкина найти основанія для выбора угла наклона лезвія и скорости движенія ножа.

---

[1]) Статья проф. Горячкина „Теорія жатвенныхъ машинъ". въ которой излагаются эти соображенія, была напечатана въ выпускѣ 2 Изв. Бюро за 1909 г.

Для рѣшенія перваго вопроса проф. Горячкинъ разсуждаетъ слѣдующимъ образомъ [1]). Движеніе „сегмента“ ножа (фиг. 18) слагается изъ двухъ движеній: изъ движенія колебательнаго, отъ кривошипа по уравненію:

$$x = r(1 - \cos\omega t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8),$$



Фиг. 18.

гдѣ x — разстояніе данной точки „сегмента“ отъ крайняго положенія, r — радіусъ кривошипа, а ω — угловая скорость послѣдняго; и изъ движенія поступательнаго, вмѣстѣ съ машиной, по уравненію:

$$y = vt \quad \ldots\ldots (9).$$

Отсюда абсолютная скорость движенія ножей будетъ равняться:

$$V = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \quad \ldots (10)$$

но изъ уравненія (8)

$$\frac{dx}{dt} = r\omega \sin\omega t:$$

а изъ уравненія (9)

$$\frac{dy}{dt} = v,$$

слѣдовательно,

$$V = \sqrt{v^2 + r^2\omega^2 \sin^2\omega t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11).$$

Въ общемъ случаѣ скорость эта будетъ наклонна къ лезвію, и потому ее можно разложить на двѣ составляющія: V' — перпендикулярную лезвію и V'' — по направленію лезвія.

Возьмемъ теперь систему прямоугольныхъ координатъ и помѣстимъ начало ея какой-либо точки лезвія разсматриваемаго „сегмента“, въ начальный моментъ его движнія, при чемъ ось $y^{овъ}$ направимъ по направленію движенія машины, а ось $x^{овъ}$, — по направленію движенія ножа. Обозначая теперь черезъ α — уголъ лезвія съ направленіемъ движенія машины, т. е. съ осью $y^{овъ}$, а черезъ φ — уголъ абсолютной скорости V съ осью $x^{овъ}$, видимъ изъ чертежа (фиг. 18), что

$$V' = V\cos(\varphi - \alpha), \text{ а } V'' = V\sin(\varphi - \alpha)$$

или

$$V' = V\cos\varphi\cos\alpha + V\sin\varphi\sin\alpha \quad \text{и}$$

$$V'' = V\sin\varphi\cos\alpha - V\cos\varphi\sin\alpha$$

[1]) В. П. Горячкинъ. „Теорія жатвенныхъ машинъ“. Петроградъ 1909 Стр. 35.

замѣчая же, что

$$V \cos \varphi = \frac{dx}{dt} = r\omega \sin \omega t, \quad \text{a}$$

$$V \sin \varphi = \frac{dy}{dt} = v$$

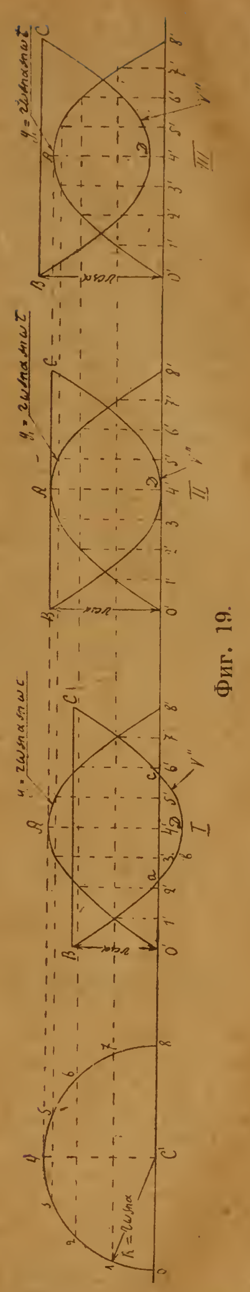
получимъ окончательно, что

$$V' = r\omega \sin \omega t \cos \alpha + v \sin \alpha \quad . \; . \; . \; . \; (12)$$

и

$$V'' = v \cos \alpha - r\omega \sin \omega t \sin \alpha \quad . \; . \; . \; . \; (13).$$

Со скоростью V', которая перпендикулярна лезвію, ножъ рубитъ стебли, а со скоростью V'', которая параллельна лезвію, онъ какъ бы пилитъ стебли. Посмотримъ теперь какъ измѣняется величина скорости V'' за одинъ полуоборотъ кривошипа, т. е. за одинъ ходъ ножа. Для этого построимъ сначала кривую $y_1 = r\omega \sin \omega t . \sin \alpha = R \sin \omega t$, гдѣ $R = r\omega \sin \alpha =$ $=$ cosnst. Для этого (фиг. 19) въ опредѣленномъ масштабѣ строимъ полуокружность радіуса $R = r\omega \sin \alpha$ и дѣлимъ на нѣкоторое число равныхъ частей, напр., на восемь, затѣмъ на продолженіи діаметра построенной полуокружности 048 откладываемъ равныя промежутки времени и изъ соотвѣтствснныхъ точекъ дѣленія полученнаго отрѣзка $0', 1' \ldots 8'$ возстанавливаемъ перпендикуляры до пересѣченія съ горизонталями проведенными черезъ точки дѣленія 1,2,3 . . . 7,8 полуокружности. Кривая $O'A8'$, соединяющая полученныя точки, и будетъ кривой $y_1 = r\omega \sin \omega t \sin \alpha$, показывающей какъ измѣняется величина y_1 за одинъ полуоборотъ кривошипа. Проведя теперь прямую $y_2 = v \cos \alpha$ параллельную оси абсциссъ и, вычитая ординаты кривой y_1 изъ соотвѣтственныхъ ординатъ прямой, получимъ кривую BDC, выражаемую уравненіемъ $V'' = v \cos \alpha -$ $- r\omega \sin \omega t . \sin \alpha = y_2 - y_1$ и изображающую измѣненіе величины скорости скольженія V'' за одинъ полуоборотъ кривошипа.



Фиг. 19.

При построеніи кривой BDC возможны три случая: первый случай, когда кривая BDC расположена по обѣимъ сторонамъ оси абсциссъ (фиг. 19, I); второй, когда кривая BDC только касается оси абсциссъ (фиг. 19, II), и, наконецъ, третіи случай, когда кривая BCD лежитъ по одну сторону оси абсциссъ и не касается ея (фиг. 19, III) Соотвѣтственно этимъ положеніямъ кривой въ первомъ случаѣ скользящее движеніе „сегмента“ будетъ мѣнять направленіе и дважды переходить че-

резъ нуль, т. е. скольженіе по направленію къ обрѣзу „сегмента" будетъ мѣняться на скольженіе по направленію къ основанію, и „сегментъ" будетъ скользить то взадъ, то впередъ, подобно тому какъ это происходитъ при работѣ пилой. Разница только будетъ въ томъ, что при работѣ пилой скорость скольженія гораздо больше скорости поступательной, перпендикулярной къ первой, а въ нашемъ случаѣ наоборотъ, $V' > V''$; во-второмъ случаѣ скорость скольженія будетъ только одинъ разъ обращаться въ нуль и знака мѣнять не будетъ; и, наконецъ, въ третьемъ случаѣ, величина скорости скольженія все время сохраняетъ конечную величину и знака не мѣняетъ. По мнѣнію проф. Горячкина, первый случай, когда скорость скольженія дважды переходитъ черезъ нуль, нужно считать не благопріятнымъ, такъ какъ по обѣ стороны отъ нулей скорость V'' будетъ невелика. Поэтому, говоритъ проф Горячкинъ, повидимому, слѣдуетъ сблизить точки a и b перваго случая въ одну, тогда V'' будетъ переходить черезъ нуль только одинъ разъ. Для того же, чтобы это имѣло мѣсто, необходимо, чтобы абсолютная скорость V была перпендикулярна къ лезвію въ средней точкѣ синусоиды, въ точкѣ ея перегиба, когда уголъ касательной къ синусоидѣ достигаетъ minimum'а, другими словами уголъ φ_{min} долженъ равняться углу α (фиг. 19). Тангенсъ же угла касательной къ синусоидѣ съ осью абциссъ

$$tg\varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{v}{r\omega \sin \omega t},$$

а слѣд., и уголъ, получаетъ свое наименьшее значеніе при

$$\omega t = \frac{\pi}{2}$$

и будетъ равняться

$$tg\varphi_{min} = \frac{v}{r\omega}$$

отсюда, такъ какъ при $\alpha = \varphi_{min}$ и $tg\alpha = tg\varphi_{min}$, будетъ, что

$$tg\alpha = \frac{v}{r\omega} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14).$$

Тоже значеніе для $tg\alpha$ можно получить изъ уравненія (13), положивъ, что при $\omega t = \frac{\pi}{2}$, $V'' = 0$. Такимъ образомъ, для того, чтобы скорость скольженія обращалась въ нуль только одинъ разъ, нужно, чтобы

$$tg\alpha = \frac{v}{r\omega}.$$

Но возможно допустить, что скорость скольженія для $\omega t = \frac{\pi}{2}$ и совсѣмъ не обращается въ нуль, т. е. имѣетъ мѣсто третій случай. Это же будетъ тогда, когда $v \cos \alpha > r\omega \sin \alpha$, откуда

$$tg\alpha < \frac{v}{r\omega} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (15).$$

Итакъ, вообще нужно такъ подбирать уголъ наклона лезвія α, чтобы

$$tg\alpha \leqq \frac{v}{r\omega} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (16).$$

Въ подтвержденіе правильности своихъ выводовъ проф. Горячкинъ приводитъ сравнительную таблицу для значеній угла α, полученныхъ вычисленіемъ и взятыхъ изъ практики:

	По измѣренію для америк. машинъ.		По вычисленію.	
	α	ωr mtr	v mtr	α
Косилка . . .	20—43°	1,375—1,95	1	27—46°
Жнея	31—37½°	1,1 —1,3	1	37—42°
Сноповяз. . .	31—48°	1,1 —1,5	1	33—42°.

Результаты, какъ видимъ, получаются вполнѣ удовлетворительные.

Результатами выводовъ объ углѣ уклона лезвія проф. Горячкинъ пользуется для сужденія о возможной величинѣ площадокъ двойного срѣза, о которыхъ упоминалось выше. Замѣняя для простоты представленія синусоиду прямой, получимъ, согласно (фиг. 20), что при $tg\alpha = \frac{v_m}{v}$ (фиг. 20, I), гдѣ v — скорость движенія машины, а $v_m = \frac{4rn}{60} = \frac{2r\omega}{\pi}$ средняя скорость ножей, — лезвіе ножа проходитъ всю площадь; при $tg\alpha > \frac{v_m}{v}$ (фиг. 20 II), остаются несрѣзанныя гривки и при $tg\alpha < \frac{v_m}{v}$ (фиг. 20 III) ножъ пробѣгаетъ нѣкоторую часть площади дважды. Отсюда слѣдуетъ, что можно допустить только условіе, что

$$tg\alpha \leqq \frac{v_m}{v} \quad \text{или} \quad tg\alpha \leqq \frac{\frac{2r\omega}{\pi}}{v}.$$

А такъ какъ вообще $v_m = \frac{2r\omega}{\pi} > v$, то $r\omega > v$, и слѣдовательно, уголъ α удовлетворяя условію, что

$$tg\alpha \leqq \frac{v}{r\omega}$$

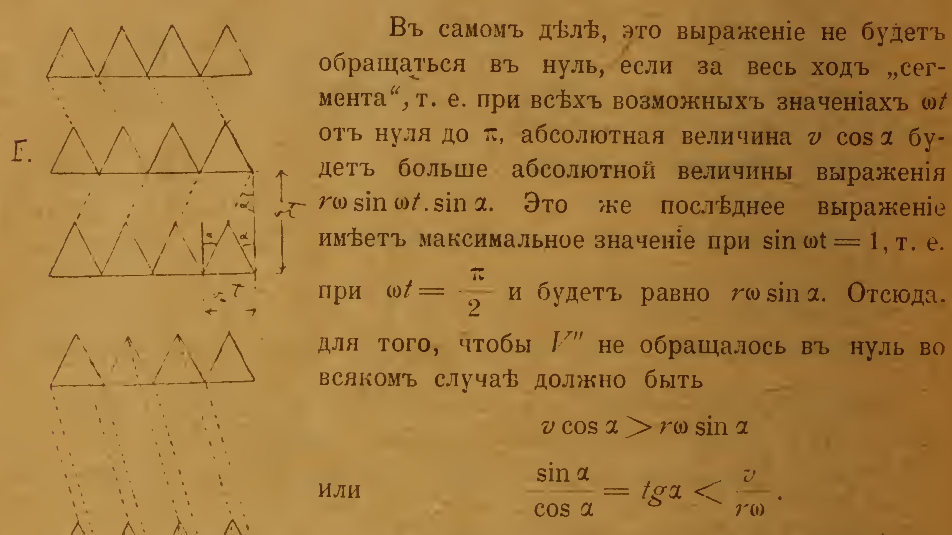
будетъ во всякомъ случаѣ удовлетворять условію, что

$$tg\alpha < \frac{\frac{2r\omega}{\pi}}{v},$$

т. е. при условіи, что $v_m > v$ и $tg\alpha \leqq \frac{v}{r\omega}$, нельзя избѣжать площадокъ двойного срѣза.

Къ выводамъ проф. Горячкина относительно угла наклона лезвія можно прійти, изслѣдуя выраженіе для скорости скольженія

$$V'' = v \cos \alpha - r\omega \sin \omega t . \sin \alpha.$$



Фиг. 20.

Въ самомъ дѣлѣ, это выраженіе не будетъ обращаться въ нуль, если за весь ходъ „сегмента", т. е. при всѣхъ возможныхъ значеніахъ ωt отъ нуля до π, абсолютная величина $v \cos \alpha$ будетъ больше абсолютной величины выраженія $r\omega \sin \omega t . \sin \alpha$. Это же послѣднее выраженіе имѣетъ максимальное значеніе при $\sin \omega t = 1$, т. е. при $\omega t = \frac{\pi}{2}$ и будетъ равно $r\omega \sin \alpha$. Отсюда для того, чтобы V'' не обращалось въ нуль во всякомъ случаѣ должно быть

$$v \cos \alpha > r\omega \sin \alpha$$

или

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = tg\alpha < \frac{v}{r\omega}.$$

Другими словами, при этомъ условіи скорость скольженія V'' будетъ при всѣхъ положеніяхъ „сегмента" положительна, т. е. направлена отъ основанія „сегмента" къ вершинѣ; при этомъ максимальное значеніе, равное $v \cos \alpha$, она будетъ имѣть, для данныхъ v и α, въ начальный и конечный моменты активнаго движенія лезвія, когда $\omega t = 0$ или π. Изъ выраженія для максимальнаго значенія V'' также видимъ, что величина положительной скорости скольженія возрастаетъ съ увеличеніемъ скорости перемѣщенія машины и уменьшеніемъ угла α, т. е. „сегменты" съ болѣе отвѣсными лезвіями будутъ давать большую скорость скольженія, направленную отъ основанія „сегмента" къ вершинѣ и при $\alpha = 0$ эта скорость будетъ равна скорости передвиженія машины.

Если же въ тотъ моментъ, когда выраженіе $r\omega \sin \omega t . \sin \alpha$ имѣетъ максимальное значеніе, оно будетъ равно $v \cos \alpha$, то $V'' = 0$, т. е. въ этомъ

случаѣ при $\omega t = \frac{\pi}{2}$, что соотвѣтствуетъ среднему положенію „сегмента", скорость скольженія обратится въ нуль. Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ

$$r\omega \sin \alpha = v \cos \alpha$$

и

$$tg\alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{v}{r\omega}.$$

Если же V'' обращается въ нуль не при максимальномъ значеніи выраженія $\omega r \sin \omega t \sin \alpha$, а при какомъ-нибудь среднемъ его значеніи, когда ωt лежитъ между 0 и $\frac{\pi}{2}$ или $\frac{\pi}{2}$ и π, то скорость скольженія дважды обратится въ нуль и при $\omega t = \frac{\pi}{2}$ будетъ имѣть отрицательное значеніе. Въ этомъ случаѣ, слѣдовательно,

$$r\omega \sin \alpha > v \cos \alpha.$$

и

$$tg\alpha > \frac{v}{r\omega}.$$

Изложенныя соображенія проф. Горячкина объ углѣ уклона лезвія весьма интересны, такъ какъ даютъ намъ возможность, если не входить въ оцѣнку ихъ правильности, во всякомъ случаѣ сознательно относиться къ выбору того или другого угла уклона лезвія. Но съ другой стороны, приходится признать, что эти соображенія не даютъ исчерпывающаго отвѣта на поставленный вопросъ, и даже вызываютъ сомнѣнія вообще въ своей правильности.

Въ самомъ дѣлѣ, эта теорія совершенно не даетъ отвѣта на вопросъ, почему уголъ наклона лезвія въ „сегментахъ" съ насѣченными лезвіями бываетъ обыкновенно значительно больше, чѣмъ въ „сегментахъ" съ гладкими лезвіями.

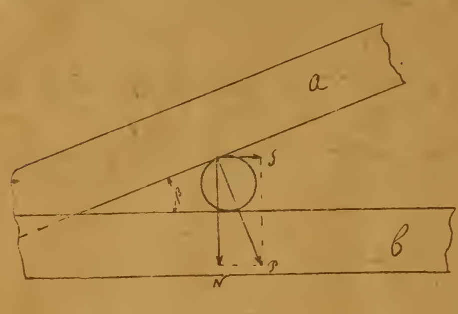
Прежніе изслѣдователи, какъ, напр., Wüst и Perels, полагали, что это дѣлается для того, чтобы создать лучщія условія для пиленія. Они полагали, что при болѣе пологихъ лезвіяхъ „сегмента" движеніе перпендикулярно къ направленію рѣзанія, т. е. пиленіе, будетъ сильнѣе проявляться [1]). Но, какъ мы видили, по изслѣдованіямъ проф. Горячкина, выходитъ какъ разъ наоборотъ, что пиленіе будетъ сильнѣе проявляться у „сегментовъ" съ болѣе крутыми лезвіями, т, е. съ меньшимъ угломъ α. Поэтому остается предположить, что или практика допустила ошибку и пошла по ложному пути, употребляя насѣченные „сегменты" съ болѣе пологими лезвіями (уголъ α больше), или же выводы проф. Горячкина не соотвѣтствуютъ дѣйствительности.

Что касается тѣхъ возраженій, которыя могутъ быть выдвинуты противъ соображеній проф. Горячкина для выбора того или другого уклона лезвія, то они сводятся къ слѣдующему. Во-первыхъ, если въ основу процесса рѣзанія въ рѣжущемъ аппаратѣ кладется рѣзаніе по способу нож-

[1]) E. Perels. Handbuch der Landwirthschaftlichen Maschinenwesens. Zweiter band. Стр. 98.

A. Wüst. Die Mähemachinen der Neuzeit. Leipzig. 1875. Стр. 187.

ницъ, то выборъ того или другого уклона лезвія долженъ въ первую очередь базироваться, ни на томъ, какой уклонъ желателенъ, а на томъ, какой уклонъ можетъ быть взятъ, а установивъ уже предѣлы возможности, можно будетъ говорить о желательности измѣненія его въ данныхъ предѣлахъ въ ту или другую сторону. Въ самомъ дѣлѣ, какъ извѣстно, для того, чтобы расходъ работы на приведеніе въ движеніе ножницъ былъ по возможности малъ и колебался въ узкихъ предѣлахъ, рѣжущія лезвія ножницъ подводятся другъ къ другу подъ нѣкоторымъ угломъ β (фиг. 21), при чемъ уголъ этотъ не есть произвольная величина, а зависитъ всецѣло отъ коэф. тренія между рѣжущимъ и разрѣзаемымъ предметомъ. Въ самомъ дѣлѣ, если лезвіе a подводится къ лезвію b для перерѣзыванія какого-либо предмета съ силой P, перпендикулярной къ подходящему лезвію, т. е. этому равно усиліе разрѣзанія, то съ силой N этотъ предметъ будетъ прижиматься къ лезвію b, а съ силой $S = N tg\beta$ будетъ выталкиваться наружу. Для того, чтобы это не произошло, необходимо, чтобы сила тренія $= N tg\varphi$, гдѣ φ уголъ тренія, была бы больше силы S, т. е. необходимо, чтобы



Фи. 21.

$$N tg\varphi > N tg\beta = S$$

откуда, нужно, чтобы

$$tg\varphi > tg\beta \quad \text{или}$$

$$\varphi > \beta,$$

т. е. для возможности срѣза уголъ между лезвіями ножницъ не долженъ превосходить угла тренія для рѣжущаго и разрѣзаемаго предметовъ. Слѣдовательно, въ нашемъ рѣжущемъ аппаратѣ уголъ между лезвіемъ „сегмента" и пальцевой пластинкой (этотъ уголъ очень мало отличается отъ угла наклона лезвія, разсматриваемаго проф. Горячкинымъ), не можетъ быть больше нѣкоторой опредѣленной величины, опредѣляемой условіемъ

$$\beta < \varphi;$$

и, напр., при перерѣзаніи металловъ уголъ β берется обыкновенно равнымъ $9^\circ - 14^\circ$,

Что касается величины коэф. тренія для стальныхъ ножей при разрѣзаніи ими стеблей, то до сихъ поръ на этотъ счетъ никакихъ данныхъ нѣтъ. На основаніи же имѣющихся личныхъ наблюденій, впрочемъ можно заключить, что коэф. тренія при рѣзаніи стеблей измѣняется въ довольно широкихъ предѣлахъ, въ зависимости отъ сорта растеній и состоянія самого стебля (степень зрѣлости) и примѣрно соотвѣтствующій уголъ тренія равенъ $30^\circ - 40^\circ$. Конечно, указанныя значенія для угла тренія требуютъ тщательной опытной провѣрки.

Такимъ образомъ, если не принять какихъ-нибудь мѣръ, повышающихъ коэф. тренія при скольженіи стебля по лезвію ножа, уголъ наклона лезвія, или вѣрнѣе, уголъ между лезвіемъ и пальцевой пластинкой не можетъ превосходить указанныхъ предѣловъ. И для существующихъ машинъ послѣдній уголъ немного только выходитъ изъ приведенныхъ выше предѣловъ, такъ, напр., для всѣхъ косилокъ, промѣренныхъ проф. Nachtweh уголъ φ не превосходитъ $42^\circ58'$. Но такое превышеніе угла рѣзанія надъ угломъ тренія (если допустить, что указанныя нами предѣлы абсолютно вѣрны) вполнѣ возможно. Такъ какъ съ одной стороны ускользанію стебля препятствуетъ извѣстная сопротивляемость его отклоненію, ибо онъ не свободенъ, а однимъ концомъ укрѣпленъ въ почвѣ, а съ другой стороны, и что болѣе надежно, можно искусственно повысить коэф. тренія, къ чему на практикѣ и прибѣгаютъ, снабжая пальцевую пластинку насѣчкой Такая насѣчка, устраняя необходимость постояннаго оттачиванія лезвія въ значительной мѣрѣ повышаетъ коэф. тренія. Въ этомъ направленіи можно итти и дальше, и снабдить насѣчкой не только лезвіе пальцевой пластинки но и лезвіе самого „сегмента". Это дастъ намъ возможность значительно увеличить уголъ между лезвіемъ „сегмента" и пальцевой пластинкой, не считаясь совершенно съ указанными выше предѣлами, и довести его, напр., до величины въ $51^\circ31'$, какъ это сдѣлано въ машинѣ Massey-Harris.

Послѣднее средство болѣе надежно, чѣмъ насѣчка одной только пальцевой пластинки, и увеличивать сильно уголъ наклона лезвія „сегмента" въ первомъ случаѣ не рекомендуется, особенно при работѣ на травѣ, такъ какъ при большой густотѣ срѣзаемыхъ растеній, всегда мыслимо такое перерѣзаніе, гдѣ стебель одной стороной прилегаетъ къ лезвію „сегмента", а другой къ сосѣднимъ стеблямъ, и въ силу этого возможно ускользаніе или этого стебля или близъ лежащихъ.

Высказанныя выше соображенія вполнѣ отвѣчаютъ на вопросъ, какой уклонъ м о ж н о придавать лезвію, но на вопросъ, какой же уклонъ нуженъ или желателенъ, онѣ отвѣта совершенно не даютъ.

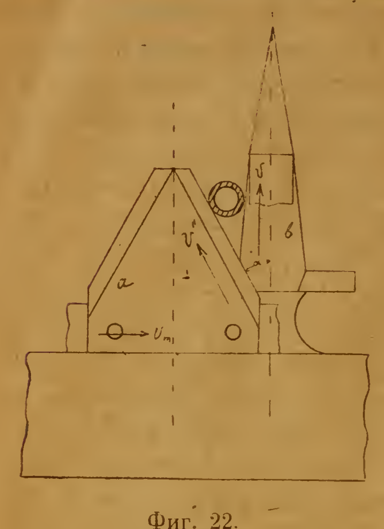
Отвѣтъ на послѣдній вопросъ даетъ та скорость скольженія, изслѣдованію которой проф. Горячкинъ положилъ въ основу своихъ заключеній объ углѣ уклона лезвія, но только давая нѣсколько иное толкованіе ея вліянію на процессъ рѣзанія

Проф. Горячкинъ, анализируя движеніе „сегментовъ" и констатируя существованіе скорости, направленной вдоль лезвія „сегмента", отъ основанія къ вершинѣ, предполагаетъ, что существованіе именно такой скорости благопріятно для рѣзанія, и на этомъ основаніи выводитъ свое условіе, что

$$tg\alpha \gtreqless \frac{v}{r\omega}.$$

Посмотримъ насколько, такое предположеніе о скорости скольженія направленной отъ основанія лезвія къ его вершинѣ, правильно.

Разсмотримъ тотъ моментъ рѣзанія, когда лезвіе сегмента a и пальцевая пластинка b коснулись стебля (фиг. 22). Какъ извѣстно, машина при работѣ перемѣщается поступательно съ нѣкоторой скоростью v, слѣдовательно, съ такой же скоростью или почти съ такой, будетъ скользитъ и лезвіе пальцевой пластинки въ направленіи своей длины и силой тренія будетъ увлекать за собой и подрѣзаемый стебель. Это тѣмъ болѣе, вѣроятно, что, какъ уже указывалось, обычно лезвіе пальцевой пластинки снабжено насѣчкой и, слѣдовательно, стебли скользить по немъ не могутъ, и сопротивленіе стебля отгибу будетъ навѣрно преодолено.



Фиг. 22.

Подошедшее же лезвіе „сегмента" a, съ одной стороны будетъ рубить стебель со скоростью V', а съ другой—будетъ пытаться пилить его съ нѣкоторой скоростью V'', направленной тоже, какъ и скорость v, къ основанію угла α (направленіе скоростей v и V'' показано на чертежѣ стрѣлками). Но, такъ какъ стебель уже увлекается впередъ пальцевой пластинкой съ бо́льшей скоростью v, такъ какъ всегда $v > V''$, то пиленіе будетъ возможно не въ направленіи скорости V'', какъ полагаетъ проф. Горячкинъ, а въ обратномъ направленіи и со скоростью ровной разности $v - V''$, которая въ концѣ размаха ножа приблизительно равна $v - v \cos \alpha$, что при маломъ значеніи угла α даетъ незначительную величину скорости пиленія. Если даже предположить, что стебель не увлекается почему-либо пальцевой пластинкой, напр., если онъ съ ней не пришелъ въ соприкосновеніе, то и тогда само скользящее лезвіе „сегмента" силой тренія можетъ увлечь стебель, если онъ достаточно гибокъ. Но такъ какъ мы предполагаемъ, что весь процессъ рѣзанія преимущественно совершается по способу ножницъ, то бо́льшее значеніе имѣетъ первое предположеніе. Увеличивая же уголъ α, мы уменьшаемъ величину скорости скольженія и, слѣд., создаемъ лучшія условія для пиленія, а при $V'' = 0$ получается картина, что стебель, увлекаясь пальцевой пластинкой, скользитъ по лезвію „сегмента" и имъ перепиливается. Въ этомъ направленіи можно итти еще дальше и создать такія условія, что V'' не только будетъ обращаться въ нуль, но и принимаетъ обратное направленіе; тогда мы получаемъ, что въ то время, какъ пальцевая пластинка скользитъ въ одномъ направленіи, лезвіе „сегмента" скользитъ въ другомъ, и стебель, захваченный тѣмъ или другимъ, будетъ пилиться противоположнымъ, такъ что явленіе пиленія стебля будетъ проявляться въ еще бо́льшей степени.

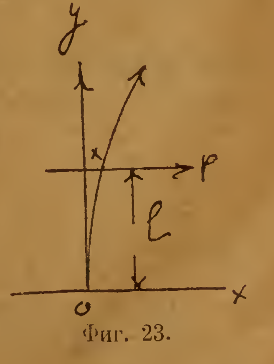
На основаніи изложенныхъ соображеній уже ясно, почему нужно стремиться увеличивать уголъ наклона лезвія, а чтобы это можно было сдѣлать, приходится прибѣгать къ насѣчкѣ лезвія. Такъ какъ при работѣ въ травѣ съ зелеными стеблями насѣченныхъ лезвій употреблять нельзя, такъ какъ они сейчасъ же залипнутъ и, слѣд., потеряютъ свой смыслъ, то въ косилкахъ приходится употреблять „сегменты" съ меньшимъ уклономъ лезвія, хотя и тутъ нужно стремиться подходитъ къ допускаемому возможно большему значенію угла α. При работѣ же на зрѣломъ хлѣбѣ, съ сухимъ стеблемъ, наоборотъ, можно и даже желательно съ точки зрѣнія менѣе частаго оттачиванія лезвія, примѣнять насѣченные „сегменты", поэтому здѣсь мы въ полной мѣрѣ можемъ воспользоваться преимуществами пиленія передъ перерубываніемъ стебля и соотвѣтственно увеличить уголъ α.

Такимъ образомъ, по вопросу объ углѣ уклона лезвія α, мы приходимъ къ выводамъ прямо противоположнымъ выводамъ проф. Горячкина,

Оказывается, что, если желательно, чтобы въ процессѣ рѣзанія рѣжущимъ аппаратомъ преобладало пиленіе, то нужно, чтобы тангенсъ угла наклона лезвія не только не былъ меньше, но, наоборотъ, былъ больше отношенія $\frac{v}{r\omega}$, гдѣ r—радіусъ кривошипа, а ω—его угловая скорость.

Переходя теперь къ другому кардинальному вопросу, выдвинутому проф Горячкинымъ, о наивыгоднѣйшей скорости ножа, познакомимся предварительно съ его соображеніями по этому поводу [1].

По мнѣнію проф. Горячкина, взглядъ проф. Nachtweh относительно двоякаго (активнаго и пассивнаго) дѣйствія ножей имѣетъ предположительный характеръ, и задача, повидимому, должна быть поставлена иначе. Стебель можно разсматривать, какъ упругій вертикальный стержень, закрѣпленный внизу. „Производя на него давленіе съ различной скоростью, говоритъ проф. Горячкинъ, можно подмѣтить, что при малой скорости удара стебель отклонится въ сторону и при маломъ перемѣщеніи получитъ гармоническое колебаніе, а при большемъ перемѣщеніи надломится у корня, а не срѣжется; для того, чтобы перерѣзать стебель, нужно надвигать на него ножъ со скоростью (курсивъ нашъ), которая превышаетъ по величинѣ скорость вышеуказаннаго колебательнаго движенія стебля отъ начальнаго удара".



Фиг. 23.

Подъ дѣйствіемъ удара P (фиг. 23), говоритъ далѣе проф. Горячкинъ, произведеннаго на высотѣ l отъ земли, стебель отклонится на амплитуду A и приходитъ въ колебательное движеніе, при чемъ

---

[1] В. П. Горячкинъ. „Теорія жатвенныхъ машинъ". Петроградъ. 1909 г. Стр. 43—46.

$$x = A \sin \frac{2\pi t}{T}; \quad \frac{dx}{dt} = \frac{2\pi A}{T} \cos \frac{2\pi t}{T}; \text{ и } \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{4\pi^2 A}{T^2} \sin \frac{2\pi t}{T}.$$

Съ другой стороны, какъ извѣстно, моментъ вращающихъ силъ равняется моменту инерціи, на угловое ускореніе, т. е.

$$Pl = \Sigma my^2 \frac{d\omega}{dt},$$

гдѣ Σmy^2 — моментъ инерціи стебля относительно точки вращенія O, и $\frac{d\omega}{dt}$ — угловое ускореніе. Отсюда

$$P = \frac{\Sigma my^2}{l^2} l \frac{d\omega}{dt}.$$

Но, обозначая $\frac{\Sigma my^2}{l^2}$ черезъ m, гдѣ m есть приведенная масса стебля въ точкѣ удара, и замѣчая, что $l \frac{d\omega}{dt}$ есть линейное ускореніе въ моментъ наибольшаго отгиба,

$$l \frac{d\omega}{dt} = -\left(\frac{d^2x}{at^2}\right)_{x=A},$$

получимъ, что

$$P = -m\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_{x-A} = \frac{4m\pi^2}{T^2} A.$$

Далѣе, по теоріи упругости, стрѣлка прогиба для такого стебля будетъ:

$$A = \frac{P}{FJ} \frac{l^3}{3},$$

гдѣ E — модуль упругости, а

$$J = \frac{\pi}{4} (R^4 - r^4) \cong 4 R^3\delta = \frac{D^3\delta}{2}$$

моментъ инерціи поперечнаго сѣченія у основанія стебля, D — діаметръ стебля, δ — толщина стѣнокъ у основанія. Слѣдовательно,

$$P = 3 \frac{AEJ}{l^3},$$

откуда

$$P = \frac{4\pi^2 A \Sigma my^2}{T^2 l^2} = \frac{3}{2} \frac{ED^2\delta A}{l^3}.$$

Получивъ это выраженіе для P, дальше проф. Горячкинъ говоритъ: Для того, чтобы ножи могли срѣзывать стебли, *ускореніе ножа* (курсивъ опять нашъ) j должно быть не менѣе ускоренія стеблей, т. е.

$$j \geqq \frac{4\pi^2 A}{T^2}.$$

Взявъ максимальное значеніе для ускоренія ножа

$$J_{max} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r,$$

гдѣ v — скорость вращенія кривошипа, а r — радіусъ его, проф. Горячкинъ, выводитъ условіе, что

$$\omega^2 r > \frac{4\pi^2 A}{T^2} = \frac{3}{2}\,\frac{ED^3\delta A}{l\Sigma my^2} = \frac{Pl^3}{\Sigma my^2}.$$

Отсюда угловая скорость кривошипа

$$\omega > \sqrt{\frac{3}{2}\,\frac{ED^3\delta A}{lr\Sigma my^2}} = \sqrt{\frac{Pl^2}{r\Sigma my^2}}.$$

Такъ какъ срѣзаніе ножами стеблей начнется тогда когда ускореніе ножа сдѣлается достаточнымъ, то, замѣняя здѣсь P усиліемъ R, достаточнымъ для срѣзыванія стеблей, получимъ:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \infty \frac{n}{10} > \sqrt{\frac{3}{2}\,\frac{ED^3\delta A}{lr\Sigma my}} = \sqrt{\frac{Rl^2}{r\Sigma my^2}} \quad . \; . \; . \; . \; (17).$$

А такъ какъ ускореніе въ мертвыхъ точкахъ достигаетъ maximum'а, въ срединѣ же хода равно нулю, то, говоритъ проф. Горячкинъ, можно утверждать (въ противоположность проф. Nachtweh), что подпора стеблей въ эти моменты не требуется; скорѣе надо думать, что недорѣзаніе будетъ въ срединѣ хода — при наибольшей скорости, но и наименьшемъ ускореніи.

Изъ выведеннаго условія для ω можно заключить, по мнѣнію проф. Горячкина, что ω, или число оборотовъ кривошипа, увеличивается если:

1) E увеличивается, т. е., чѣмъ мягче стебли (трава).

2) R увеличивается, т. е., чѣмъ больше усиліе рѣзанія.

3) A или l увеличивается, т. е., чѣмъ выше подрѣзать стебель.

4) D и δ увеличивается, т. е., чѣмъ толще стебли.

5) $\frac{1}{r}$ увеличивается, т. е., чѣмъ r — меньше; слѣд., скорость ножей, пробѣгающихъ промежутокъ между 3 пальцами, должна быть менѣе, чѣмъ между 2.

6) $\frac{1}{\Sigma my^2}$ увеличивается, т. е, чѣмъ легче колосья.

Въ предложенномъ проф. Горячкинымъ рѣшеніи вопроса о найвыгоднѣйшей скорости ножа, остается не яснымъ, почему для возможности срѣза стеблей ускореніе ножа должно быть не менѣе ускоренія стеблей.

Въ самомъ дѣлѣ, для того, чтобы вообще возможенъ былъ срѣзъ какимъ-нибудь тѣломъ другого тѣла, помимо особыхъ свойствъ этихъ тѣлъ, необходимо еще перемѣщеніе въ сторону рѣзанія рѣжущаго тѣла относительно перерѣзаемаго. И потому понятно, что въ моментъ рѣзанія скорость рѣжущаго тѣла должна быть больше скорости перерѣзаемаго. Конечно,

въ такомъ частномъ случаѣ, когда оба тѣла, имѣя одинаковую начальную скорость, движутся неравномѣрно въ одномъ и томъ же направленіи и ускоренія ихъ одинаковаго знака, то, для существованія перемѣщенія одного тѣла относительно другого, ускореніе рѣжущаго тѣла должно быть больше ускоренія перерѣзаемаго.

Но относительныя перемѣщенія ножа и стебля совершенно не подходятъ подъ этотъ случай. Послѣ удара стебель, какъ полагаетъ проф. Горячкинъ, приходитъ въ колебательное движеніе, т. е. движется замедленно и ускореніе стебля направлено въ сторону обратную направленію рѣзанія; ножъ же двигается съ ускореніемъ или направленнымъ въ сторону рѣзанія или въ обратную. Случай равномѣрнаго движенія ножа мы оставляемъ безъ разсмотрѣнія, такъ какъ такое движеніе ножа является только переходнымъ.

Въ первомъ случаѣ при одинаковой начальной скорости, не можетъ быть и рѣчи о сравненіи ускореній, такъ какъ ускореніе ножа положительно, а стебля отрицательно. Во-второмъ же случаѣ, когда ножъ совершаетъ вторую половину своего хода, можетъ возникнуть вопросъ объ ускореніи, такъ какъ можетъ случиться, что ножъ, двигаясь принужденно и совершая размахъ меньшій, чѣмъ амплитуда стебля A, будетъ сильнѣе замедлять свое движеніе, чѣмъ стебель, не догонитъ его, и срѣза не произойдетъ. Но тогда, чтобы срѣзъ произошелъ, необходимо, чтобы ножъ не такъ сильно замедлялъ свое движеніе, т. е. чтобы его ускореніе было бы *меньше* ускоренія стебля.

Но намъ кажется, что такъ рѣшать вопросъ объ ускореніи ножа и стебля нельзя. Дѣло въ томъ, что нельзя разсматривать эти величины, какъ независимыя. Измѣняя скорость движенія ножа, мы тѣмъ самымъ измѣняемъ и силу удара, а слѣдовательно, измѣнится и характеръ колебательнаго движенія. И если для какого-нибудь частнаго случая ускореніе ножа равняется ускоренію стебля, т. е. $j_{max} = \frac{4\pi A}{T^2}$, то нельзя, измѣнивъ лѣвую часть равенства, т. е. увеличивъ j_{max}, предполагать, что правая остается безъ измѣненія. И если ускореніе ножа находится въ зависимости отъ размѣровъ кривошипа, то ускореніе стеблей есть результатъ удара ножей съ силой P; слѣдовательно, прежде всего нужно рѣшить вопросъ, какъ измѣняется ускореніе стебля съ измѣненіемъ силы удара. Если же оно измѣняется въ томъ же направленіи что и сила удара, и пропорціонально послѣднему, то никакое измѣненіе скорости ножа сути дѣла не измѣнитъ.

Такимъ образомъ, изъ предложеннаго проф. Горячкинымъ представленія процесса рѣзанія стебля никоимъ образомъ нельзя вывести, что ускореніе ножа (j_{max}) должно быть больше ускоренія стебля. Да и у проф. Горячкина этотъ вопросъ изложенъ не совсѣмъ ясно. Вначалѣ проф. Горячкинъ дословно говоритъ слѣдующее „......для того, чтобы перерѣзать стебель, нужно

надвигать на него ножъ со скоростью (курсивъ нашъ), которая превышаетъ по величинѣ скорость вышеуказаннаго колебательнаго движенія стебля отъ начальнаго удара"... А дальше, при выводѣ формулы встрѣчаемъ другое условіе: „...для того, чтобы ножи могли срѣзать стебли, ускореніе ножа j должно быть не меньше ускоренія стеблей".

Такимъ образомъ, вначалѣ ничего не говорится объ ускореніи ножа, оно совершенно игнорируется, а затѣмъ оказывается, что для возможности перерѣзанія оно должно быть не меньше ускоренія стебля.

Кромѣ того, вызываетъ возраженіе и толкованіе окончательной формулы для наивыгоднѣйшей скорости ножа, приводимое проф. Горячкинымъ.

Въ самомъ дѣлѣ, изъ формулы (17).

$$\omega \cong \frac{n}{10} > \sqrt{\frac{3}{2}\,\frac{ED^3\delta A}{lr\Sigma my^2}}$$

видно, что съ увеличеніемъ E — модуля упругости стебля — скорость ножа увеличивается, при чемъ проф. Горячкинъ такое увеличеніе величины E толкуетъ, какъ увеличеніе мягкости стеблей. При такомъ толкованіи, конечно, теоретическіе выводы вполнѣ совпадаютъ съ дѣйствительностью, ибо мы знаемъ, что у косилокъ, предназначенныхъ для работы въ травѣ, стебли которой мягче, чѣмъ стебли хлѣба, скорость ножа значитеньно больше, чѣмъ у жней.

Но такое толкованіе модуля упругости E въ примѣненіи къ стеблямъ, по нашему мнѣнію, совершенно произвольно.

Дѣйствительно, изъ теоріи упругости извѣстно, что изгибающая сила, при одной и той же стрѣлкѣ прогиба и величинѣ плеча, прямо пропорціональна модулю упругости E изгибаемаго тѣла. Такъ, для балки, укрѣпленной однимъ концомъ, что соотвѣтствуетъ условіямъ изгиба стебля, мы имѣемъ, что

$$P = \frac{3EJ.}{l^3} f;$$

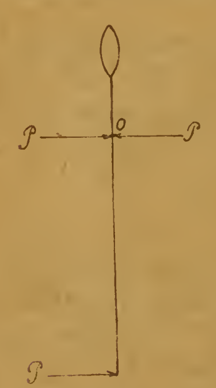
т. е. что для одного и того же отгиба, увеличенному модулю упругости E должно отвѣчать и соотвѣтственное увеличеніе сопротивленія отгибу, другими словами, если данные стебли обладаютъ бóльшимъ модулямъ упругости, то и сопротивленіе ихъ отгибу должпо быть больше, т. е. они будутъ жестче, а не мягче. А для травы, какъ извѣстно, сопротивленіе отгибу значительно меньше, чѣмъ для хлѣбныхъ злаковъ, она болѣе гибка или, какъ гаворятъ, мягче, слѣд., модуль упругости ея меньше, чѣмъ таковой у хлѣбныхъ злаковъ, и скорость ножа по вышеприведенной формулѣ должна быть меньше, а не больше, что, конечно, уже не соотвѣтствуетъ дѣйствительности.

Также вызываютъ возраженія и соображенія проф. Горячкина, о томъ состояніи, въ какомъ находится стебель въ моментъ соприкосновенія съ быстро движущимся ножомъ. Какъ видно изъ рисунка 23 [1]), заимствованнаго

[1]) В. П. Горячкинъ. „Теорія жатвенныхъ машинъ". Стр. 44 и рис. 36.

у проф. Горячкина, амплитуда отклоненія стебля для различныхъ точекъ по его длинѣ будетъ пропорціональна разстоянію этихъ точекъ отъ мѣста прикрѣпленія стебля. Но такое положеніе приметъ стебель не въ первые моменты за ударомъ, а въ послѣдующіе и то только въ томъ случаѣ, если не произойдетъ срѣзъ. Дѣйствительно, въ силу гибкости стебля, скорость, сообщенная точкамъ стебля въ мѣстѣ удара, передается свободному концу стебля, т. е. колосу, не мгновенно, а въ теченіи нѣкотораго промежутка времени, въ зависимости отъ длины стебля и его гибкости. И потому получится такая картина, что въ то время, какъ точки стебля въ мѣстѣ удара уже отклонятся на нѣкоторую величину въ сторону удара, точки на концѣ стебля или колосъ, еще останутся на мѣстѣ, что создаетъ иллюзію отклоненія колоса, при ударѣ стебля у основанія, назадъ, въ сторону обратную направленію удара.

Этимъ явленіемъ и объясняется удовлетворительная работа, такъ называемыхъ „грабковъ" при ручной косѣ. Стебли, подрѣзанные косой и получившіе нѣкоторую скорость въ мѣстѣ удара, въ силу давленія лезвія косы на стебель, на другомъ концѣ остаются въ покоѣ, будучи же подрѣзаны, они уже движутся, какъ свободное тѣло, а потому, прикладывая въ центрѣ тяжести подрѣзаннаго стебля, лежащаго вблизи колоса, силу равную и противоположную силѣ, приложенной въ мѣстѣ срѣза, получимъ силу, перемѣщающую весь стебель параллельно, и пару силъ, вращающую стебель въ сторону обратную движенію косы и кладущую стебель на подходящіе вслѣдъ за косой „грабки" (фиг. 24).



Фиг. 24.

Изъ всего вышесказаннаго слѣдуетъ, что вопросъ о наивыгоднѣйшей скорости ножа, требуетъ дальнѣйшей разработки. При чемъ работы въ этомъ случаѣ могутъ вестись въ двухъ направленіяхъ: какъ путемъ постановки соотвѣтственныхъ опытовъ, которые эмпирически рѣшили бы этотъ вопросъ, такъ и путемъ чисто отвлеченныхъ разсужденій о характерѣ срѣза гибкаго стебля, закрѣпленнаго однимъ концомъ.

Пользуясь вторымъ методомъ, намъ кажется, что процессу рѣзанія косой, а также и по способу ножницъ, можно дать слѣдующее толкованіе.

Разсмотримъ сначала срѣзъ косой, такъ какъ здѣсь ударный срѣзъ, срѣзъ безъ всякихъ подпоръ, дается въ чистомъ видѣ.

Пусть лезвіе косы, двигаясь съ извѣстной скоростью, встрѣчаетъ на своемъ пути стебель на нѣкоторомъ разстояніи отъ земли. Возникаетъ вопросъ, при соблюденіи какихъ условій можетъ произойти срѣзъ стебля. Понятно, что срѣзъ стебля произойдетъ тогда, когда сопротивленіе отгибу стебля въ сторону рѣзанія P будетъ больше того усилія R, которое требуется для перерѣзанія стебля, и если это условіе будетъ соблюдено, т. е. $R < P$, то стебель и будетъ перерѣзанъ.

Но допустимъ обратное, допустимъ, что вышеуказанное условіе не соблюдено, и сопротивленіе стебля отгибу P будетъ меньше усилія R, необходимаго для перерѣзанія стебля, т. е. $R > P$. Спрашивается, какимъ образомъ и въ этомъ случаѣ достигнуть срѣза, не измѣняя характера срѣза, т. е. не прибѣгая къ подпорамъ стебля и не увеличивая остроту лезвія.

Оказывается, что для этого достаточно воспользоваться инерціей массы самого стебля.

Въ самомъ дѣлѣ, по второму закону Ньютона слѣдуетъ, что для того, чтобы сообщить массѣ m, находящейся въ покоѣ, скорость равную v въ теченіи малого времени τ, нужно приложить усиліе

$$F = \frac{mv}{\tau}.$$

Обращаясь теперь къ стеблю и предполагая, что лезвіе косы надвигается на него со скоростью v, мы видимъ, что для отгиба стебля, кромѣ силы P, равной сопротивленію отгиба стебля, придется еще приложить въ мѣстѣ срѣза силу

$$F = \frac{mv}{\tau},$$

гдѣ m—масса стебля, v—скорость лезвія косы, и τ—время, въ теченіи котораго происходитъ измѣненіе скорости стебля отъ нуля до v. Стебель будетъ сопротивляться отгибу уже не съ силой P, а съ силой

$$P + \frac{mv}{\tau}$$

и съ этой силой и будетъ прижиматься къ лезвію косы u, если усиліе рѣзанія будетъ меньше этого надавливанія, т. е. если

$$R < F + P \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (15),$$

то стебель не отклонится, а будетъ перерѣзанъ. Такимъ образомъ, не измѣняя условій рѣзанія и не увеличивая остроты лезвія, мы получаемъ возможность срѣзать стебель.

Разсматривая выведенное нами условіе (15), которое можетъ быть переписано въ видѣ

$$R < \frac{mv}{\tau} + P,$$

видимъ, что скорость косы v возрастаетъ, когда

1) R возрастаетъ, т. е. усиліе, необходимое для срѣза стебла увеличивается.

2) P уменьшается, т. е. когда сопротивленіе отгибу стебля падаетъ, а это бываетъ, когда или E уменьшается, т. е. стебли мягче, или, когда l — возрастаетъ, т. е. срѣзъ производится на большой высотѣ отъ мѣста прикрѣпленія стебля.

3) И наконецъ, когда m уменьшается, т. е. когда стебли легче. Всѣ выведенныя условія вполнѣ совпадаютъ съ дѣйствительностью.

Что же касается условія рѣзанія ножницами, то вышеприведенныя разсужденія приложимы и въ этомъ случаѣ. Дѣйствительно, при рѣзаніи по способу ножницъ можно разсматривать, что стебель закрѣпленъ не у своего основанія, а въ мѣстѣ соприкосновенія съ нижнимъ неподвижнымъ лезвіемъ ножницъ b (фиг. 25), въ силу чего изгибающій моментъ очень малъ, такъ какъ плечо его мало и, наоборотъ, сопротивленіе отгибу стебля P въ мѣстѣ срѣза будетъ сравнительно велико, и, слѣдовательно, при тѣхъ же условіяхъ лезвіе a ножницъ можетъ надвигаться на стебель съ меньшей скоростью v_1, чѣмъ лезвіе косы.

Фиг. 25.

Другими словами, при рѣзаніи по способу ножницъ искусственно уменьшается l — высота срѣза стебля, закрѣпленнаго однимъ концомъ; слѣд., создаются лучшія условія рѣзанія, и чѣмъ больше будутъ сближены лезвія ножницъ, тѣмъ условія рѣзанія будутъ лучше, и тѣмъ съ меньшей, скоростью возможно будетъ надвигать на стебель лезвіе ножницъ. Вотъ почему, такъ важно, чтобы „сегменты“ въ рѣжущемъ аппаратѣ прилегали возможно плотно къ пальцевымъ пластинкамъ. Въ косѣ же, гдѣ l велико, приходится значительно увеличивать остроту лезвія.

Вообще же по характеру своего дѣйствія, срѣзъ гибкихъ стеблей очень близко подходитъ къ дѣйствію мгновенныхъ силъ, и эта близость тѣмъ рѣзче проявляется, чѣмъ тупѣе рѣжущее лезвіе. Тѣмъ болѣе тогда падаетъ значеніе величины сопротивленія отгибу стебля P и тѣмъ болѣе выступаетъ на сцену величина силы F. Особенно рѣзко это проявляется при сбиваніи, рѣзкимъ и сильныхъ ударомъ, тросточкой верхушекъ цвѣтовъ, что знакомо и не сельскому жителю. Дѣйствительно, въ данномъ случаѣ явленіе сбиванія, верхушекъ стеблей палкой совершенно тождественно съ явленіемъ пробиванія отверстія въ полуотворенной двери пулей и разрыва нити, привязанной къ подвижному тяжелому шару. Время дѣйствія силы во всѣхъ этихъ случаяхъ очень мало, но зато скорость, а, слѣдовательно, и сила велика, слѣдовательно, импульсъ к о н е ч е н ъ, но малъ и потому происходитъ разрушеніе, а не отгибъ стебля, пробиваніе отверстія въ двери, а не открытіе ея и разрывъ нити, а не отклоненіе шара. Наоборотъ, если бы мы надвигали бы тросточку на стебель, палецъ на дверь и тянули бы за веревочку медленно, то хотя бы сила была мала, но дѣйствіе ея продолжительно, импульсъ ея будетъ значителенъ, и стебель отклонится, дверь откроется, а шаръ отклонится.

Итакъ, резюмируя все вышесказанное о скорости движенія ножа, приходимъ къ слѣдующимъ выводамъ.

Величина скорости ножа при рѣзаніи гибкихъ стеблей, однимъ концомъ закрѣпленныхъ, зависитъ съ одной стороны отъ остроты лезвія, а съ другой отъ гибкости и массы самихъ стеблей и отъ высоты срѣза, а въ случаѣ рѣзанія по способу ножницъ отъ плотности прилеганія „сегмента“ къ пальцевой пластинкѣ.

Такъ какъ гибкость стебля въ каждомъ данномъ случаѣ есть величина данная, измѣнить которую не въ нашихъ силахъ, а острота лезвія, какъ показала практика, не можетъ быть значительно увеличиваема, такъ какъ затруднительно въ этомъ случаѣ поддержаніе ея, и практикой выработана опредѣленная острота лезвія „сегментовъ“ (между прочимъ въ косѣ допустима большая острота лезвія, такъ какъ тамъ удобнѣе и проще ее возобновлять, чѣмъ въ рѣжущемъ аппаратѣ), которую тоже измѣнять широко мы не можемъ, —то остается, слѣдов., въ рѣжущемъ аппаратѣ только плотность прилеганія „сегментовъ“ къ пальцевымъ пластинкамъ, на которую мы и должны при конструированіи рѣжущаго аппарата обращать особое вниманіе.

Какъ уже указывалось раньше, средняя скорость ножей практикой установлена слѣдующая:

для косилокъ . . . . 1,2 — 1,95 mtr/sec.
для жней . . . . 1,1 — 1,5 mtr/sec.

Въ среднемъ можно считаетъ, что вполнѣ допустимая скорость

для косилокъ . . . . $v_m = 1,6$ mtr.
для жней . . . . $v_m = 1,3$ mtr.

Переходить величину которой безъ особыхъ причинъ не рекомендуется и, наоборотъ, слѣдуетъ по возможности стремиться уменьшить ее.

Теоріей проф. Горячкина и заканчиваются работы по изслѣдованію процесса рѣзанія въ жатвенныхъ машинахъ. И подводя итогъ, мы можемъ прійти къ слѣдующимъ основнымъ выводамъ.

Несмотря на то, что рѣжущій аппаратъ въ жатвенныхъ машинахъ ведетъ начало своего существованія съ 30-хъ годовъ прошлаго столѣтія, а попытки дать теоретическія обоснованія его работы появились въ 70-хъ годахъ того же столѣтія, все-таки до сихъ поръ вполнѣ исчерпывающей теоріи рѣжущаго аппарата не дано. Всѣ появлявшіеся попытки дать такую теорію распадаются на два теченія. Одно болѣе раннее, но существующее и до сихъ поръ, представителями котораго являются Wüst, Perels, Thallmayer, Fritz, а въ настоящее время. проф. Nachtweh сводило всю теорію рѣжущаго аппарата къ построенію и изученію діаграммъ движенія ножа, давая имъ то или иное толкованіе. Другое теченіе, болѣе

позднее, появившееся лишь въ послѣднее время, на ряду съ діаграммами выдвигаетъ и такіе существенные вопросы, какъ уголъ наклона лезвія и скорость движенія ножа и пытается на основаніи теоретическихъ разсужденій прійти къ положительному ихъ рѣшенію. Первымъ и пока единственнымъ представителемъ второго направленія является проф. В. П. Горячкинъ. Но, различаясь постановкой рѣшенія вопроса, эти направленія мало отличаются друга отъ друга способомъ рѣшенія вопроса, Какъ то, такъ и другое, ставя своей задачей выяснить вопросъ о характерѣ работы рѣжущаго аппарата жатвенныхъ машинъ, страдаетъ полнымъ отсутствіемъ эксперимента. Данныя же о работѣ цѣлаго ряда машинъ, приводимыя у проф. Nachtweh, нельзя отнести къ разряду научнаго эксперимента, такъ какъ здѣсь вовсе не была исключена возможность вліянія на работу жатвенной машины различныхъ постороннихъ факторовъ, какъ, напр., сборки аппарата, матеріала, изъ котораго онъ сдѣланъ, и т. п. Поэтомуа, напр. совершенно неизвѣстно, потому ли машина плохо работала, что у нея неправильно сконструированъ рѣжущій аппаратъ, или потому, что онъ небрежно собранъ. При научно поставленномъ экспериментѣ всѣ такія побочныя обстоятельства или должны быть устранены, или, тѣмъ или другимъ способомъ, учтены. Экспериментовъ же такого рода при изслѣдованіи рѣжущаго аппарата до сихъ поръ примѣнено не было.

Въ силу этого, всѣ основныя выводы изслѣдователей работы рѣжущаго аппарата жатвенныхъ машинъ, вызываютъ большія сомнѣнія и даже напрашиваются прямо противоположныя рѣшенія по выдвигаемымъ ими вопросамъ.

Поэтому главной и ближайшей задачей каждаго, поставившаго себѣ цѣлью изучить работу рѣжущаго аппарата жатвенныхъ машинъ, должно быть постановка именно такого научнаго эксперимента.

Что же касается тѣхъ вопросовъ, которые при этомъ должны быть выдвинуты въ первую очередь, то на основаніи всего вышесказаннаго приходимъ къ слѣдующимъ выводамъ.

Детальному и очень тщательному эксперименту должны быть подвергнуты слѣдующіе вопросы:

1) Вопросъ величинѣ усилія R, необходимаго для срѣза стебля, и зависимость этого усилія отъ характера срѣза (косой срѣзъ и срѣзъ перпендикулярный оси стебля).

2) Вопросъ о величинѣ сопротивленія отгибу P стебля на опредѣленной высотѣ срѣза.

3) Вопросъ о величинѣ модуля упругости E стебля [1]).

---

[1]) Данныя по этому вопросу въ литературѣ имѣются, но они совершенно недостаточны, а кромѣ того, не выяснена зависимость модуля упругости растеній отъ степени ихъ зрѣлости (см. И. А. Калинниковъ и В. Ф. Раздорскій. Матеріалы къ ученію о механическихъ свойствахъ частей растеній. Экспериментальное изслѣдованіе сопротивленія растеній растяженію. Изв. Мех. Инст. Импер. Моск. Техн. учил. Москва. 1912 г.

4) Вопросъ объ углѣ тренія при рѣзаніи стеблей различнаго рода растеній и, наконецъ,

5) вопросъ о томъ, зависятъ ли успѣшность срѣза отъ скорости или ускоренія движущагося лезвія, при прочихъ равныхъ условіяхъ.

Когда рядъ этихъ вопросовъ будетъ рѣшенъ, хотя бы болѣе или менѣе приближенно, тогда только можно будетъ подойти къ рѣшенію такихъ вопросовъ, какъ уголъ наклона лезвія „сегмента" и скорость движенія ножа, и выяснить правильность тѣхъ или другихъ умозаключеній на этотъ счетъ. Пока же это не будетъ сдѣлано, мы будемъ такъ же далеки отъ рѣшенія интересующаго насъ вопроса, какъ и первые авторы, съ той только разницей, что вокругъ этого вопроса будетъ нагромождена масса различныхъ теорій.

Литература.

Горячкинъ, В. П. Теорія жатвенныхъ машинъ. Петроградъ. 1909 г.

„ Косилки, жнеи, сноповязалки. Петроградъ. 1913 г.

Ганъ, В. Ю. Отчетъ о конкурсныхъ испытаніяхъ уборочныхъ машинъ русскаго производства, произведенныхъ по порученію Переселенческаго Управленія лѣтомъ 1907 г. въ окрестностяхъ Омска и Барнаула. Изв. Бюро по сел.-хоз. механикѣ. 1909 г. Вып. I.

Шиндлеръ, К. Г. Жнеи и жнеи-сноповязалки. Отчетъ о второй очередной выставкѣ сел.-хоз. машинъ и орудій на Бутырскомъ хуторѣ И. М. О. С. Х. 1896 г. Москва. 1897 г.

Fritz, H. Handbuch der landw. Maschinen. Berlin. 1880.

Nachtweh, A. Beiträge zur Kenntnis, Theorie und Beurteilung der Mähemaschinen. Berlin. 1904.

Perels, E. Die Mähemaschinen. Jena. 1869.

Perels, E. Handbuch der landw Maschinenwesens. Jena. 1880.

Thallmayer. Die Beurtheilung der Reinheit des Schnittes bei Mähemashinen (Dinglers polyt. Journal. Bd. 225, 1877).

Wüst, A. Die Mähemaschinen der Neuzeit. Leipzig. 1875.

Wüst, A. Landw. Maschinenkunde. Berlin. 1882 и 1889.

Извлеченіе изъ правилъ изданія Извѣстій Кіевскаго Политехническаго Института ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА II.

Неоффиціальная часть Извѣстій подраздѣляется на отдѣлы: а) инженерно-механическій и б) химико-агрономическій.

Въ отдѣлъ а) входятъ статьи по математикѣ, теоретической механикѣ, гидравликѣ, физикѣ, строительной механикѣ, прикладной механикѣ, электротехникѣ, механической технологіи, строительному и инженерному искусству.

Въ отдѣлъ б) входятъ статьи по химіи, минералогіи, геологіи, біологическимъ наукамъ, химической технологіи, металлургіи, сельско-хозяйственной метеорологіи, зоотехніи, земледѣлію, агрономическому анализу, сельско-хозяйственной экономіи, статистикѣ (общей и сельско-хозяйственной).

Подписка принимается какъ на все изданіе, такъ и на отдѣльные выпуски. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. въ годъ. Цѣна выпусковъ соразмѣряется съ числомъ листовъ (примѣрно 10—15 коп. за листъ).

Учебный персоналъ Института получаетъ „Извѣстія“ даромъ, а студенты Института и другихъ высшихъ учебныхъ заведеній— за половинную цѣну.

Подписка принимается въ библіотекѣ Института.

Редакторы:

Оффиціальной части проф. *Д. К. Добросердовъ.*
Инженерно-механическаго отдѣла проф. *К. К. Симинскій.*
Химико-агрономическаго отдѣла проф. *Д. К. Добросердовъ.*